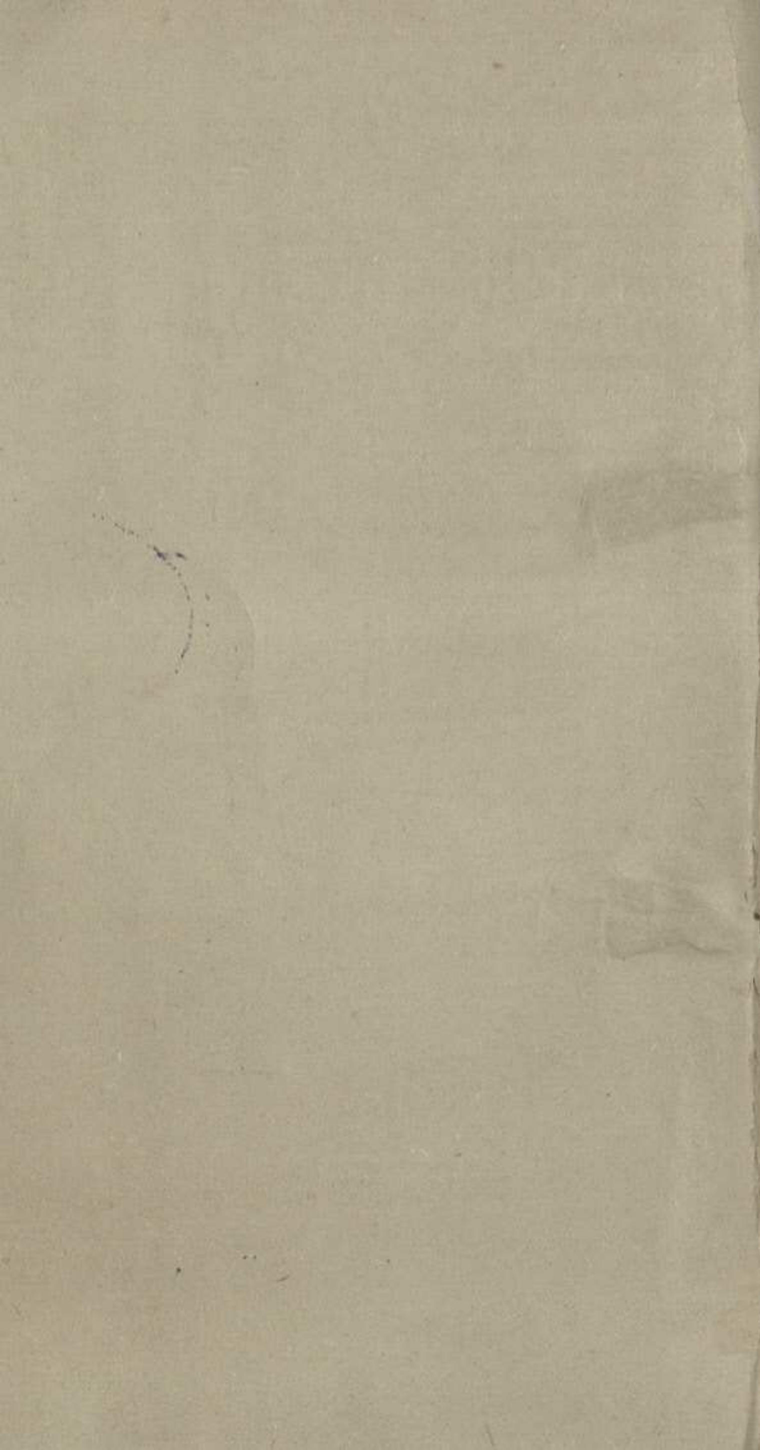
भौतिकी शास्त्रातील नोबेल पारितोषिक विजेते

भाग ३

अनुवादक : चं. रा. तळपदे



महाराष्ट्र राज्य साहित्य संस्कृती मंडळ मुंबई

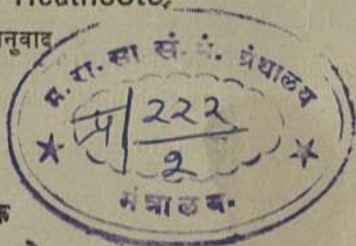


भौतिकी शास्त्रातील नोबल पारितोषिक विजेते

Nobel Prize Winners in Physics 1921–1930

by Niels H. de. V. Heathcote,

या पुस्तकाचा अनुवाद



अनुवादक

चं. रा. तळपदे



महाराष्ट्र राज्य साहित्य संस्कृती मंडळ

किंमत रुपयें १२/-

प्रकाशक :

सचिव महाराष्ट्र राज्य साहित्य संस्कृतीमंडळ
मंत्रालय, मुंबई – ४०००३२



मूळ इंग्रजी आवृत्तीचे प्रकाशक :–
Henry Schuman, New York



मुद्रक :

श्री. प. म. महाबळ
प्रभा प्रेस, (प्रिंटर्स)
६५६, 'गणेश प्रसाद' गणपती पेठ,
सांगली ४१६ ४१६

निवेदन

डॉ. चं. रा. तळपदे यांनी अनुवादित केलेल्या " भौतिक शास्त्रातील नोबेल पारितोषिकाचे मानकरी " (सन १९०१ ते १९५०) या पुस्तकाच्या पहिल्या भागाचे प्रकाशन करण्याचा आज योग येत आहे. या पुस्तकाचे प्रकाशन एकूण पाच भागात होणार असून त्यापैकी इ. स. १९२१ ते १९३० या काळातील भौतिक शास्त्रातील नोबेल पारितोषिक विजेत्यांचा अल्पपरिचय व त्यांच्या ज्या संशोधनास नोबेल पारितोषिक मिळाले आहे त्याची थोडक्यात माहिती या भागात करुन देण्यात आली आहे. अन्य|दोन भागांचे प्रकाशनही अल्पावधीत करण्यात येईल. वाचक या सर्वच पुस्तकांचे स्वागत करतील अशी आशा आहे.

सुरेंद्र बारलिंगे
अध्यक्ष,
महाराष्ट्र राज्य साहित्य संस्कृती मंडळ.

४२, यशोधन,
मुंबई - ४०० ०२०,
दि. १ जानेवारी, १९८४.

प्रस्तावना

साधारण पंधरा सोळा वर्षापूर्वी रसायन शास्त्रातील नोबेल पारितोषिक विजेते (१९०१-१९५०) हे माझे पुस्तक पाच भागात प्रसिद्ध झाले. या पुस्तकाचे महाराष्ट्रात जे स्वागत झाले, त्यामुळे अुत्तेजन मिळून मी मूलतत्वांचा शोध व रसायनशास्त्राचे कारागीर (भाग १ ते ६) ही पुस्तके लिहिली व ती व्हीनस प्रकाशनाने प्रसिद्ध केली. या दोन पुस्तकास महाराष्ट्र साहित्य व संस्कृती मंडळाचा पुरस्कारही मिळाला. रसायनशास्त्राचा भौतिकीशास्त्राशी फार जवळचा संबंध आहे. प्राध्यापक म्हणून भौतिकी रसायनशास्त्र शिकवत असता त्यातील काही विषय भौतिकीशास्त्रात मोडत असल्याचे आढळून येत होते. त्यामुळे भौतिकीशास्त्रातील नोबेल पारितोषिकांचे विजेते असे पुस्तक लिहावे हा विचार माझ्या मनात बरेच दिवस घोळत होता. पण पुस्तकाच्या लेखनास अवश्य तितका वेळ मिळत नव्हता. १९७५ साली प्राध्यापकीय कामातून मुक्त झाल्यानंतर भरपूर मोकळा वेळ मिळू लागला. त्यावेळी भौतिकीशास्त्राचा पुन्हा नव्याने अभ्यास करून या पुस्तकाच्या लेखनास हात घातला. सुदैवाने याच विषयावरचे नील्स अेच्. डी. व्ही. हीथकोट यांचे पुस्तक (न्यूयॉर्कच्या हेन्री शुमन कंपनीने प्रसिद्ध केलेले) हाती आले. ते पुस्तक वाचून अभ्यासल्यावर स्वतंत्र वेगळे पुस्तक लिहिण्याऐवजी, त्याच पुस्तकाचा अनुवाद करावा असे मी ठरवले. तो अनुवाद तयार केल्यानंतर बरेच दिवस माझ्यापाशीच होता. पुस्तकांची एकंदर पृष्ठसंख्या पाहाता महाराष्ट्रातला प्रकाशक या पुस्तकाचे प्रकाशन हाती घेईल का, अशी शंका वाटू लागली. काही प्रकाशकाबरोबर पत्र व्यवहार करता, ही शंका खरी ठरली. त्यानंतर माझे मित्र प्रो. प. म. बर्वे यांच्या सुचनेवरून हे पुस्तक महाराष्ट्र साहित्य व संस्कृती मंडळ प्रसिद्ध करील का, हे पाहण्याचे मी ठरविले व त्याप्रमाणे पुस्तकाचे हस्तलिखित मंडळाकडे नेऊन दिले. मंडळाने पुस्तक प्रसिद्ध करण्याचे ठरवले व त्याप्रमाणे पुस्तक आता प्रसिद्ध होत आहे. पुस्तकाचे प्रकाशन हाती घेतल्याबद्दल महाराष्ट्र साहित्य व संस्कृती मंडळाचे व त्या मंडळाच्या अध्यक्षांचे आभार मानणे माझे कर्तव्य आहे व ते मी मोठ्या आनंदाने पार पाडत आहे. मंडळाचे अध्यक्ष डॉ. सुरेन्द्र बारलिंगे यानी पुस्तकाचे हस्तलिखित स्वत: वाचून पाहिले आणि नंतरच निर्णय घेतला.

या आधीच्या " रसायनशास्त्रातील नोबेल पारितोषिकाचे मानकरी " या पुस्तकासारखीच या पुस्तकाची रचना आहे. पारितोषिक विजेत्यांचा थोडक्यात परिचय, ज्या कामाबद्दल पारितोषिक मिळाले त्या कामाची माहिती व त्या कामामुळे संशोधनावर व विज्ञानावर झालेला परिणाम अशी या पुस्तकाची साधारण

रचना आहे. मराठी वाचकांच्या हातात अेक जाडजूड ग्रंथ दिल्यास, तो कदाचित बिचकेल व ग्रंथ वाचण्याच्या भरीस पडणार नाही असे वाटून ग्रंथ पाच भागात प्रसिद्ध केला आहे. १९०१ ते १९५० या पन्नास वर्षांच्या कालखंडाचे दहा वर्षांचा एक असे पाच कालखंड कल्पून प्रत्येक कालखंडासाठी एक भाग, अशा तऱ्हेने पाच भागात हे पुस्तक प्रसिद्ध होत आहे. या पुस्तकात पारितोषिक विजेत्यांच्या चरित्रावर विशेष भर दिलेला नाही. ज्या कामाबद्दल पारितोषिक मिळाले, त्या कामाची माहिती देण्यावरच भर दिला आहे. पारितोषिक वितरणाचा समारंभ दर वर्षी स्वीडनमध्ये होतो. त्यावेळी पारितोषिक विजेता समारंभस्थळी जमलेल्या विद्वान मंडळीपुढे आपल्या संशोधनाची माहिती देणारे व्याख्यान देतो. संशोधकांची अशी माहितीपूर्ण व्याख्याने पुस्तकरुपाने प्रसिद्ध झाली आहेत. त्या व्याख्यानांच्याच आधारे हीथकोट यानी आपले पुस्तक लिहिल्याने त्या पुस्तकाचाच अनुवाद मी केला आहे. अनुवाद करताना महाराष्ट्र शासनाला मान्य असलेली परिभाषा व त्या शासनाचा पदनाम कोष यांचा मुक्त हस्ताने वापर केला आहे. ज्या ठिकाणी इंग्रजी संज्ञेला मराठी प्रतिशब्द मिळाला नाही, त्याठिकाणी मूळचाच इंग्रजी शब्द ठेवला आहे. किंवा सुचेल तो मराठी प्रतिशब्द दिला आहे.

चरित्राच्या मिषाने विज्ञानविषयाची माहिती सांगता येते व ती वाचताना वाचक कंटाळत नाही असा अनुभव असल्याने, नोबेल पारितोषिक विजेत्यांची चरित्रे सांगायला घेतली आहेत. या चरित्राबरोबर दिलेली माहिती वाचल्यानंतर १९०१ पासून भौतिकीशास्त्राचा विकास कसा होत गेला याचे चित्र डोळ्यासमोर येईल. तसेच मोठमोठे शोध अल्प श्रमानी लागत नाहीत, त्यासाठी अपार कष्ट उपसावे लागतात याबद्दल वाचकांची खात्री होईल.

१९५० नंतर रसायनशास्त्राचा व भौतिकीशास्त्राचा विकास कसा झाला हे समजण्यासाठी १९५१ ते १९८२ च्या नोबेल पारितोषिक विजेत्यांची चरित्रे लिहायला पाहिजेत किंवा एक वेगळा ग्रंथ लिहीला पाहिजे.ते काम कोणातरी तरुण लेखकाने उचलावे अशी इच्छा प्रगट करावीशी वाटते.

अेखादा खाद्य पदार्थ तयार केल्यानंतर, त्याचे केवळ वर्णन करुन भागत नाही, तो खाऊन पाहावा लागतो. तेव्हाच त्याची चव समजते. त्याच न्यायाने हे पुस्तक वाचून पहावे व मग आपले मत बनवावे ही विनंती,

१-१-१९८४

– चं. रा. तळपदे

❑

अनुक्रमणिका

तिसरा खंड



आल्बर्ट आइन्स्टीन



नील्स हेन्रिक डेव्हिड बोर



रॉबर्ट अँड्रूज मिलीकन



कार्ल मॅन जॉर्ज सिगबान

१९२१

आल्बर्ट आइन्स्टीन

(१८७९ - १९५५)

" गणिती भौतिकीशास्त्राचे संवर्धन व फोटो-इलेक्ट्रीक परिणामाविषयीचा नियम शोधण्याबद्दल नोबेल पारितोषिक "

चरित्र

१४ मार्च १८७९ रोजी, जर्मनीच्या गटेनबर्ग प्रांतातील उल्म गावी अेका ज्यू घराण्यात आल्बर्ट आइन्स्टाइनचा जन्म झाला. त्याचे वडील अेक वैद्युती-रासायनिक कारखाना आपल्या भावाच्या मदतीने चालवीत असत. आल्बर्ट आई-न्स्टाइनची आई कलावंत वृत्तीची असून, तिला संगीताची विशेष आवड होती. आईची संगीताची आवड आल्बर्ट आईन्स्टाईनमध्ये चांगलीच उतरली होती. व शेवटपर्यंत त्याने विज्ञानाच्या जोडीला संगीतात रस घेतला. आल्बर्ट सहा वर्षाचा असता, आईन्स्टाईन कुटुंबाने स्थलांतर केले व ते म्युनिच शहरी राहू लागले. म्युनिचमधील कॅथॉलिक शाळेत आल्बर्टचे प्राथमिक शिक्षण पुरे झाले.

दहा वर्षाचा झाल्यानंतर त्याने म्युनिचमधील लुटपोल्ड विद्यालयात प्रवेश मिळविला. शालेय अभ्यासक्रमातील लॅटीन व ग्रीक भाषांच्या व्याकरणाचा अभ्यास त्याला विशेष आवडला नाही. पण गणित विषयात मात्र त्याला विशेष गोडी उत्पन्न झाली. गणित विषयात गोडी निर्माण करण्याचे कार्य शाळेतल्या शिक्षकानी

केले नाही तर त्याच्या चुलत्याने केले. त्याच्या चुलत्यानें त्याला बीजगणिताची व भूमितीची ओळख करून दिली व त्या विषयात आपल्याला गती आहे असे समजून आल्याने आइन्स्टाईनला त्या विषयाची आवड निर्माण झाली. याशिवाय विज्ञान विषयावर सोप्या भाषेत लिहिलेली पुस्तके वाचून त्याची विज्ञानविषयाची आवड जास्त वाढली. त्याचे शालेय जीवन चालू होते त्याच तऱ्हेने संथपणे चालू राहिले असते, तर अठराव्या वर्षी शालेय अभ्यासक्रम पुरा करून तो कुठल्या तरी जर्मन विश्वविद्यालयात गेला असता. पण तो पंधरा वर्षांचा झाल्यानंतर त्याच्या वडिलानी म्युनिचमधील आपला लहानसा कारखाना म्युनिचहून इटलीतील मिलन शहराला हलविण्याचा निर्णय घेतला व त्याप्रमाणे म्युनिचमधील कारखाना बंद करून तोच कारखाना त्यानी मिलनमध्ये उभा केला. आल्बर्टचे शालेय शिक्षण पूर्ण व्हावे यासाठी त्याला म्युनिचमध्येच मागे ठेवले होते. पण सहा महिन्यानंतर आल्बर्टही आपल्या मातापित्यापाठोपाठ इटलीत आला.

आल्बर्ट आइन्स्टाइनच्या वडिलानी इटलीत नव्याने कारखाना उभारला. पण तो नीट चालेना, तेव्हा आल्बर्टला त्या लहान वयात नोकरी शोधणे भाग पडले. नोकरीची पूर्व तयारी म्हणून त्याने पॉलिटेक्निकमध्ये प्रवेश मिळविण्याचे ठरविले व तो स्विस फेडरल पॉलिटेक्निक स्कूलच्या प्रवेश परिक्षेस बसला. गणित विषयात चांगले उत्तम गुण मिळवूनही तो त्या प्रवेश परिक्षेत अनुत्तीर्ण झाला. त्यानंतर आरॉ गावच्या शाळेत अेक वर्ष अभ्यास करुन त्याने शालेय जीवनाची अंतिम परिक्षा दिली व पॉलिटेक्निकमध्ये प्रवेश मिळविला.

पॉलिटेक्निकचा अभ्यासक्रम पुरा करुन, त्याने त्याच विद्यालयात नोकरी मिळविण्याचा प्रयत्न केला. परंतु त्याला ती नोकरी मिळाली नाही. त्यानंतर काही दिवस खाजगी शिकवण्या करुन, उदरनिर्वाह केल्यानंतर, त्याने अग्रहक्क कचेरीत कारकूनाची नोकरी पत्करली. अग्रहक्क मिळविण्याकरिता आलेले अर्ज वाचून, त्यावर टिपणे करुन, त्या अर्जांविषयी अनुकूल किंवा प्रतिकूल मत व्यक्त करण्याचे काम त्याच्याकडे होते. ते करीत राहिल्याने, त्याचा विज्ञान विषयाशी अतूट संबंध जडला आणि त्या विषयात त्याला गम्य वाटू लागले. अग्रहक्क कचे- रीत नोकरी करीत असताना, त्याचा गणितशास्त्राचा अभ्यास चालू होता. त्या अभ्यासाच्या आधारावर त्याने उष्मागतिकशास्त्रासंबंधी अेक संशोधन निबंध

१९०२ मध्ये अॅनालेन डेर फिझिक या नियतकालिकात प्रसिद्ध केला. १९०५ मध्ये त्याच नियतकालिकात त्याने तीन संशोधन निबंध प्रसिद्ध केले. अेक फोटो अिले–क्ट्रिसिटी संबंधी पदार्थावर प्रकाशकिरण पडल्यावर निर्माण होणाऱ्या विद्युतसंबंधी होता. अेक कणांच्या ब्राउनियन चलनवलनासंबंधी होता व अेक सापेक्षतावादा–संबंधी होता. त्याच वर्षी म्हणजे १९०५ मध्ये त्यास बर्न विद्यापीठाची डॉक्टरेट मिळाली.

१९०५ मध्ये प्रसिद्ध झालेले त्याचे संशोधननिबंध इतक्या अव्वल दर्जाचे होते की बर्न विद्यापीठाच्या प्रिव्हाटडोझंटशिपसाठी त्याने अर्ज करावा असे त्याला सांगण्यात आले. प्राध्यापक म्हणून नेमणूक मिळण्याआधी काही दिवस तरी प्रिव्हा-टडोझंट म्हणून काम करणे अवश्य असल्याने, त्याने तसा अर्ज केला व १९०९ मध्ये त्याची बर्न विद्यापीठात प्रिव्हाटडोझंट म्हणून नेमणूक झाली. अग्रहक्क कचे–रीतील आपली नोकरी संभाळून, त्याने प्रिव्हाटडोझंटचे म्हणजे शिक्षकाचे काम काही दिवस केले. थोडयाच दिवसात झुरिच विद्यापीठाने त्याची उपप्राध्यापक म्हणून नेमणूक केली. अग्रहक्क कचेरीतील आपल्या जागेचा राजीनामा देऊन त्याने झुरिच विद्यापीठात प्राध्यापकीय जीवनाला आरंभ केला.

१९१० मध्ये प्राग विद्यापीठाच्या जर्मन विभागात तात्त्विक भौतिकी–शास्त्र हा विषय शिकविण्यास सुरवात झाली, व तो विषय शिकविण्याचे काम आइन्स्टाइनकडे देण्यात आले. ती नेमणूक स्वीकारून तो प्रागमध्ये आला. पण थोडयाच दिवसात झुरिच विद्यापीठाच्या पॉलिटेक्निक स्कूलने त्याला तात्त्विक भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक नेमण्याची तयारी दाखवली व त्याला झुरिचला येण्याचे आमंत्रण दिले. ते आमंत्रण स्वीकारून त्याने झुरिचला परत येऊन, पॉली–टेक्निक स्कूलमध्ये प्राध्यापकाच्या कामास सुरवात केली. प्राग शहर सोडून झुरिचला परतण्याचा निर्णय त्याने मुख्यत्वे करुन आपल्या पत्नीसाठी घेतला. बर्न विद्यापीठात असताना, त्याने सहाध्यायी विद्यार्थीनीशी विवाह केला होता, व तिला झुरिच शहरी राहाणे विशेष पसंत असल्याने तो १९७२ साली झुरिचला परतला.

तोपर्यंत बर्लिनमध्ये कैसर विल्हेल्म फिझिकल इन्स्टिटयूटची स्थापना झाली होती. जर्मनीमधील विज्ञानविषयातील संशोधन कार्यास प्रोत्साहन देण्याच्या उद्दे–शाने, सर्व प्रकारच्या अद्ययावत उपकरणानी व साधनसामुग्रीने सुसज्ज प्रयोगशाळा

या इन्स्टिटयूटसाठी खूप खर्च करून जर्मन सरकारने उभारल्या होत्या. या इन्स्टिटयूटच्या संचालकपदी नियुक्ती, बर्लिन विद्यापीठातील प्राध्यापकपदाचा मान व प्रशियन अॅकेडमी ऑफ सायन्सेस या संस्थेचे सदस्यत्व इतकी प्रलोभने आइन्स्टाइनपुढे ठेवून, त्याला बर्लिनला बोलावण्यात आले होते. प्रशियन अॅकेडमी ऑफ सायन्सेस या संस्थेच्या सदस्यत्वाचा बहुमान लक्षात घेऊन, आइन्स्टाइनने बिल्हेल्म इन्स्टिटयूटचे संचालकत्व स्वीकारण्याचा निर्णय घेतला व १९१३ मध्ये तो बर्लिनला आला. या पुढची वीस वर्षे त्याचे बर्लिनमध्येच वास्तव्य होते.

बर्लिनला आल्यानंतर थोड्याच दिवसात, आपल्या पत्नीपासून विभक्त होण्याचा त्याने निर्णय घेतला. आपल्या दोन मुलांना घेऊन ती स्वित्झरलंडला परतली. त्यानंतर पहिल्या महायुद्धाच्या काळात त्याने आपली मामेबहीण अेल्सा हिच्याशी विवाह केला.

पहिले महायुद्ध संपायच्या अगोदर, आइन्स्टाइनच्या सापेक्षतावादाच्या सिद्धांतास जागतिक मान्यता मिळाली व सापेक्षतावादाचा जनक म्हणून आइन्स्टाइनची कीर्ती जगभर पसरली.

१९२० च्या सुमारास जगभर पसरलेल्या ज्यू धर्मीयाना पॅलेस्टाइनला परत येऊन ज्यू राष्ट्राची स्थापना करावी या विचाराने जोर धरला. अमेरिकेतील श्रीमान ज्यू धर्मियानी ज्यू राष्ट्राच्या व हिब्रू विद्यापीठाच्या स्थापनेस मदत करावी म्हणून त्यांचे मन वळविण्यासाठी चेम वीझमन या ज्यू पुढाऱ्याच्या नेतृत्वाखाली अेक ज्यू धर्मियांचे मंडळ अमेरिकेस पाठविण्याचे ठरले. आल्बर्ट आइन्स्टाइन चेम वीझमनच्या मंडळाबरोबर अमेरिकेस गेला. त्या मंडळाच्या कार्यासाठी तो काही दिवस अमेरिकेत राहिला, व १९२१ च्या जून महिन्यात बर्लिनला परतला. बर्लिनला परत येत असता, त्याने इंग्लंडमधील शास्त्रज्ञांची भेट घेतली. त्यानंतर लगेच अेक वर्षाच्या आत, १९२२ च्या मार्च महिन्यात पॅरीसमधील कॉलेज डी फ्रान्सने त्यास आग्रहाचे आमंत्रण दिले. त्या आमंत्रणाचा स्वीकार करून तो पॅरीसला गेला. पॅरीसमधील काम आटोपल्यानंतर त्याने पूर्वेकडील देशांचा अेक दौरा काढला. निरनिराळ्या देशाना भेटी देऊन, तो पॅलेस्टाईन, स्पेनमार्गे बर्लिनला परतला. १९२५ साली त्याने दक्षिण अमेरिकेतील देशाना भेटी दिल्या. १९३०–१९३१ च्या व १९३२–३३ च्या हिवाळ्यात, त्याने अमेरिकेतील कॅलिफोर्निया इन्स्टिटयूट ऑफ टेक्नॉलॉजीमध्ये प्राध्यापक म्हणून काम केले.

कॅलिफोर्निया विद्यापीठात व्याख्यानमाला गुंफून तो १९३३ मध्ये युरोपला परतला, त्यावेळी जर्मन राजकर्त्यांचे धोरण ज्यू विरोधी झाले असल्याचे स्पष्ट झाल्याने, बर्लिनला परतण्यास त्याचे मन धजेना. म्हणून बर्लिनला न जाता, तो ऑस्टेंड गावाजवळ राहू लागला. त्याच वर्षी अमेरिकेतील प्रिन्सटन विद्यापीठात प्राध्यापक म्हणून काम करण्यासाठी त्याने अमेरिकेस प्रयाण केले या विद्यापीठात त्याने १९४५ पर्यंत प्राध्यापक म्हणून अध्यापन व संशोधन केले. १९४५ साली, तो प्राध्यापकीय जबाबदारीतून निवृत्त झाला. कार्यनिवृत्तीनंतरही त्याचे त्या विद्यापीठात संशोधनकार्य चालू होते. अमेरिकेतील प्रिन्सटन विद्यापीठात प्राध्यापक म्हणून तो कार्य करू लागल्यानंतर १९३९ मध्ये दुसरे महायुद्ध सुरू झाले. त्यामुळे जर्मनीला कधीतरी परत जाण्याचा विचार त्यास सोडून द्यावा लागला. अमेरि-केतच उर्वरित आयुष्य घालवण्याचे ठरवून, त्याने १९४० साली अमेरिकेच्या नागरिकत्वाचा स्वीकार केला.

अेक महान तात्विक भौतिकीशास्त्रज्ञ अशी मान्यता त्यास देशोदेशीच्या विद्वत्सभांनी दिली होती. लंडनच्या रॉयल सोसायटीने त्यास १९२१ मध्येच आपला सभासद करून घेतले. १९२५ मध्ये त्याच सोसायटीने त्यास कोप्ले पदक देऊन गौरविले. १९२६ मध्ये लंडनच्या रॉयल अॅस्ट्रॉनॉमिकल सोसायटीने त्यास सुवर्ण पदक अर्पण केले. १९३५ मध्ये अमेरिकेच्या फ्रँकलिन इन्स्टिटयूटने त्यास फ्रँकलिन पदक दिले. हारवर्ड, प्रिन्स्टन, ऑक्सफर्ड, केम्ब्रिज, लंडन, पॅरीस इत्यादी ठिकाणच्या विद्यापीठांनी त्यास आपली माननीय डॉक्टरेट देऊन गौरविले होते.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

अॅनालेन डेर फिझिक या नियतकालिकात त्याने १९०५ साली तीन संशो-धन निबंध प्रसिद्ध केले. याचा अुल्लेख या आधी आलेलाच आहे. हे संशोधन निबंध प्रसिद्ध झाले त्यावेळी तो अैन पंचविशीतला, प्राध्यापक नसलेला तरुण होता. आइन्स्टाइनचे हे तीन संशोधन निबंध इतक्या उत्तम दर्जाचे होते की, त्या निबंधामुळे अॅनालेन डेर फिझिक या नियतकालिकाचे त्या वर्षाचे अंक विज्ञान-विषयीच्या साहित्यात बहुमोल ठरले आहेत. त्यातला पहिला संशोधन निबंध १९०५ च्या मार्च महिन्यात प्रसिद्ध झाला असून उष्णता विकिरणाव्यतिरिक्त इतर विकिरणांचे व त्यातल्या त्यात प्रकाश विद्युत परिणामाचे स्पष्टीकरण देण्यासाठी त्याने प्लँकच्या ऊर्जेच्या ठराविक प्रमाण कल्पनेचा किंवा क्वांटम कल्पनेचा उप-योग केला. दुसरा संशोधन निबंध १९०५ च्या मे महिन्यात प्रसिद्ध झाला असून

त्यात त्याने ब्राउनी हालचाली विषयी गणिती उपपत्ती मांडली आहे. या उपप-त्तीच्या आधारे त्याने असा निष्कर्ष काढला की द्रवात तरंगणाऱ्या कणांनी वायु-विषयक नियमांचे पालन केले पाहिजे. आइनस्टाइनचा हा निष्कर्ष बरोबर असल्याचे त्यानंतर पेरिन या शास्त्रज्ञाने प्रायोगिकरीत्या सिद्ध केले. तिसरा संशोधन निबंध १९०५ च्या जूनमध्ये प्रसिद्ध झाला असून, त्यात सापेक्षतावादाच्या अुपपत्तीची प्राथमिक पावले टाकली आहेत. आइन्स्टाइनच्या या सापेक्षतावादाच्या उपपत्तीमुळे त्याच्या विद्वत्तेची कीर्ती शास्त्रीय जगतात पसरली.

आइन्स्टाइनला नोबेल पारितोषिक मिळाल्याचे जाहीर होईपर्यंत, त्याच्या सापेक्षतावादाच्या उपपत्तीमुळे त्याचे नाव अेक पहिल्या श्रेणीचा भौतिकीशास्त्रज्ञ म्हणून सर्वांना माहीत झाले होते. तरीपण अेक महत्वाची उपपत्ती मांडल्याबद्दल त्यास नोबेल पारितोषिक द्यावे की देऊ नये याबद्दल मतभिन्नता होती. मतभिन्नतेचे कारण पारितोषिक कोणास द्यावे याविषयी नोबेलने घातलेल्या अटीमध्ये होते. मानवजातीचे कल्याण करु शकेल अशा प्रकारचा शोध लावल्याबद्दल पारितोषिक द्यावे असे नोबेलने म्हटल्यामुळे उपपत्ती पारितोषिक पात्र ठरते की नाही असा संशय निर्माण झाला होता. त्यामुळे आइन्स्टाइनला नोबेल पारितोषिक मिळाले ते त्याच्या सापेक्षतावादाच्या उपपत्तीबद्दल नाही तर प्रकाशविद्युत परिणामाविषयीचे नियम शोधून काढल्याबद्दल. त्यामुळे पारितोषिकाचा स्वीकार केल्यानंतर त्याने दिलेल्या व्याख्यानात सापेक्षतावादाचा उहापोह केला असला तरी त्या व्याख्यानाचा सारांश देण्याअैवजी, त्याच्या १९०५ सालच्या पहिल्या संशोधन निबंधातून काही उतारे घेतले आहेत. शिवाय या संशोधन निबंधात आइन्स्टाइनने पुरस्कारलेली प्रकाश ऊर्जेची क्वांटम उपपत्ती किंवा ठराविक प्रमाण उपपत्ती त्याच्या नंतरच्या नोबेल पारितोषिक विजेत्यानी मान्य केली, त्या उपपत्तीच्या आधारे त्यानी आपले संशोधन केले आहे आणि त्यापैकी कोणीही आइन्स्टाइनच्या सापेक्षतावादासंबंधी संशोधन केले नाही, हेही अेक कारण या निर्णयामागे आहे.

प्रकाशविद्युत परिणामाविषयी लेनार्ड या १९०५ च्या नोबेल पारितोषिक विजेत्याने अेक महत्वाचा शोध लावला आहे. प्रकाशविद्युतक्षम पृष्ठभागावर नीलातीत प्रकाश पडल्यावर, त्यातून बाहेर पडणाऱ्या ऋणकणांच्या वेगाचा नीला-तीत प्रकाशाच्या प्रखरतेशी काही संबंध नाही. प्रकाशाचे उत्पत्तीस्थान दूर अंतरावर ठेवून किंवा प्रकाशाच्या मार्गात पटले ठेवून त्याची प्रखरता कमी केली

तर पृष्ठभागातून बाहेर पडणाऱ्या ऋणकणांची संख्या कमी होते, पण त्यांच्या वेगात फरक पडत नाही. पृष्ठभागातून बाहेर पडणाऱ्या सर्व ऋणकणांचा वेग समान असत नाही. काहींचा कमी तर काहींचा जास्त असतो. पण तरीही सर्व ऋणकणांचा वेग काही ठराविक बृहत्तम वेगाहून कमी असतो. पृष्ठभागातून ऋण-कण बाहेर पडू नयेत यासाठी विरोधक विभव वापरून हा बृहत्तम वेग मोजता येतो. पृष्ठभागातून ऋणकण बाहेर पडू नयेत यासाठी साधारणपणे पाच व्होल्टहून थोडेसे कमी विभव वापरावे लागते व हे विरोधक विद्युतविभव पृष्ठभाग ज्या पदार्थाचा असतो त्या पदार्थावर अवलंबून असते व पदार्थाप्रमाणे बदलते. ऋण-कणांच्या या बृहत्तम वेगाहून, काही ऋणकणाना कमी वेग असण्याचे कारण १९०३ साली इ. लॅडेनबर्ग या शास्त्रज्ञाने शोधून काढले. पृष्ठभागावर पडणाऱ्या प्रकाशा-मुळे काही ठराविक जाडीच्या स्तरातून ऋणकण बाहेर पडत असतात. जे ऋणकण पृष्ठभागाच्या अगदी वरच्या स्तरातून बाहेर पडतात, त्यांचा वेग बृहत्तम असतो व जे ऋणकण आतल्या स्तरातून येत असतात त्यांचा वेग कमी असतो. आतल्या स्तरातून ऋणकण बाहेर पडत असताना, त्यांची पृष्ठभागाच्या वरच्या स्तरातील अणुबरोबर टक्कर झाल्याने त्यांचा वेग कमी होत असतो असे लॅडेनबर्गने दाखवून दिले. परंतु पृष्ठभागातून बाहेर पडणाऱ्या ऋणकणावर काही ठराविक बृहत्तम वेग का असावा व त्याचा प्रकाशाच्या प्रखरतेशी का संबंध नाही याचे स्पष्टीकरण लॅडेनबर्गला देता आले नाही. पृष्ठभागावर प्रकाश पडल्यावर त्यातून ऋणकण बाहेर पडण्याची क्रिया, बंदुकीचा चाप ओढण्यासारखी क्रिया आहे असे लेनार्डचे स्पष्टीकरण होते. पृष्ठभागावर पडणारा प्रकाश कितीही कमजोर असला तरी त्यामुळे अणूतील स्फोटक बल कार्य करु लागते, व त्यामुळे पृष्ठभागातून ऋणकण बाहेर पडू लागतात. प्रकाश प्रखर असला तरी अणूतील स्फोटकबलाला चेतना देण्याखेरीज इतर काहीही कार्य तो करीत नाही, असे लेनार्डचे म्हणणे होते.

पृष्ठभागातून बाहेर पडणाऱ्या ऋणकणांच्या वेगाचे म्हणजे त्याना प्राप्त झालेल्या ऊर्जेचे कारण अणूमध्येच आहे असा लेनार्डच्या स्पष्टीकरणाचा अर्थ होतो. तर आइन्स्टाइनच्या उपपत्तीप्रमाणे ऋणकणाना प्राप्त होणारी ऊर्जा त्याना प्रका-शापासून मिळते. आइन्स्टाइनच्या उपपत्तीप्रमाणे प्रकाश म्हणजे ऊर्जा-गठ्ठ्यांचा अेक प्रवाह होय. प्रकाश ऊर्जेच्या या गठ्ठ्यांना त्याने प्रकाश-क्वांटा किंवा प्रकाशाचे ठराविक प्रमाण असे नाव दिले. प्रकाश-क्वांटाना सध्या फोटॉन असे म्हणतात.

प्रकाशाच्या प्रत्येक क्वांटममध्ये hv अेवढी उर्जा असते. यात h हा प्लँकचा स्थिरांक होय व v ही प्रकाशाची वारंवारता होय. जेव्हा प्रकाश-क्वांटम ऋणकणावर पडतो तेव्हा प्रकाश-क्वांटममध्ये जेवढी ऊर्जा असते त्या hv ऊर्जेपेक्षा जास्त ऊर्जा ऋण–कणाला प्रकाश-क्वांटमपासून मिळत नाही. अशा रीतीने पदार्थावर प्रकाश पडल्या–वर त्यातून बाहेर पडणाऱ्या ऋणकणाच्या वेगाला अेक बृहत्तम मर्यादा किंवा पातळी का असते याचे स्पष्टीकरण देता येते. hv ऊर्जा मिळाल्यावर ऋणकणाला जो वेग प्राप्त होतो तो त्याचा बृहत्तम वेग होय. पदार्थाच्या पृष्ठभागावरून ऋण–कण मिळाल्यास त्यास बृहत्तम वेग असतो. ऋणकण पृष्ठभागाखालून निघाला असेल तर पृष्ठभागापर्यन्त येताना काही ऊर्जा खर्च होत असल्याने, त्यास बृहत्तम वेगाहून कमी वेग असतो. यावेळी प्रकाशाच्या वारंवारतेप्रमाणे ऋणकणाचा वेगही बदलत असतो हे माहीत नव्हते. आइन्स्टाइने मांडलेल्या उपपत्तीप्रमाणे ऋणकणाचा वेग प्रकाशाच्या वारंवारतेप्रमाणे बदलायला हवा होता. पुढे १९१२ मध्ये रिचर्डसन व के. कॉम्प्टन यानी पदार्थाच्या पृष्ठभागातून ऋणकण बाहेर पडू नयेत यासाठी लागणाऱ्या विरोधक विभवाचा अभ्यास केला व ऋणकणाना पदार्थातून बाहेर पडू न देण्यासाठी लागणारे विरोधक विभव, पदार्थावर पडणाऱ्या प्रकाशाच्या वारंवारतेप्रमाणे वाढते असे सिद्ध केले.

आइन्स्टाइनने १९०५ साली प्रसिद्ध केलेल्या संशोधन निबंधातून घेतलेल्या काही उताऱ्यांचा अनुवाद पुढे दिला आहे. या संशोधन निबंधात आइन्स्टाइनने प्रकाशाची क्वांटम उपपत्ती मांडली असून, प्रकाशविद्युत परिणाम कसा घडून येतो त्याचे या उपपत्तीच्या सहाय्याने स्पष्टीकरण केले आहे.

प्रकाशाची उपपत्ती व त्यामुळं घडून आलेले बदल

वायू व विचारासाठी घेतलेले इतर वस्तूमात्र यांच्या स्वरुपाविषयी भौतिकीशास्त्रज्ञांनी मांडलेल्या तात्त्विक कल्पना व निर्वात समजल्या जाणाऱ्या पोकळीत घडून येणाऱ्या विद्युतचुंबकीय प्रक्रिया याविषयी मॅक्सवेलने मांडलेली उपपत्ती यामध्ये अेक महत्वाचा फरक आहे. खूप मोठ्या पण परिमित संख्येने असणारे अणू व ऋणकण कोठे आहेत त्या स्थानामुळे व त्याना असणाऱ्या वेगामुळे पदार्थाची परिस्थिती ठरत असते असे आपण मानतो.तरीसुद्धा अेका ठराविक जागे-तील विद्युतचुंबकीय परिस्थितीचे माप घेण्यासाठी आपण Continuous space

Function वापरतो. असे करताना परिस्थितीचे पूर्ण मापन करण्यासाठी काही ठराविक गोष्टींचे मापन पुरे पडेल किंवा काही ठराविक गोष्टींच्या मापनाने कार्यभाग होईल असे आपण मानत नाही हे उघड आहे. मॅक्सवेलच्या उपपत्ती–प्रमाणे प्रकाशाच्या व विद्युतचुंबकीय परिणामांच्या बाबतीत, ऊर्जा या जागेचे सतत Function आहे असे मानावे लागते. त्या उलट भौतिकीशास्त्रज्ञांच्या सद्य कल्पनांप्रमाणे पदार्थाची ऊर्जा त्या पदार्थाच्या अणूमध्ये व ऋणकणामध्ये वाटली गेलेली आहे. पदार्थाच्या ऊर्जेचे आपल्या मनात येतील तितके भाग पाडून प्रत्येक भाग आपल्या मनास येईल इतका सूक्ष्म करता येत नाही. त्या उलट अेक बिंदू उत्पत्तीस्थान असणाऱ्या प्रकाशाची ऊर्जा मॅक्सवेलच्या उपपत्तीप्रमाणे सतत वाढत जाणाऱ्या आकारमानामध्ये वाटली गेलेली असते.

Continuous Space function वापरणारी प्रकाशा ची तरंग उपपत्ती काही बाबतीत उत्तम ठरते. परंतु ज्या बाबतीत ती उत्तम ठरते त्या बाबतीत सरासरी वेळेचा विचार होत असतो, व अेका ठराविक क्षणाला होणारा तात्कालिक परि–णाम विचारात घेतलेला नसतो. त्यामुळे प्रकाशाचे वक्रीभवन, परावर्तन, विकरण इत्यादी बाबतीत C on tnuons space functions वापरणारी प्रकाशाची तरंग उपपत्ती उत्तम वाटली तर प्रकाशनिर्मिती व प्रकाशाचे रूपांतर या बाबतीत ती उपपत्ती लागू करता येत नाही असे आढळले आहे.

प्रकाश ऊर्जा खंडित स्वरूपात अवकाशात वाटली गेली आहे असे मानल्यास प्रकाशनिर्मिती व प्रकाशाचे रुपांतर या गोष्टी ज्यात आढळून येतात त्या कृष्णपदार्थ विकिरण, प्रकाशदीप्ती, नीलातील किरणामुळे कॅथोडकिरण निर्मिती आणि यासारख्या इतर गोष्टी जास्त चांगल्या समजून येतात.

आता या ठिकाणी मांडल्या गेलेल्या काही गृहित कृत्याप्रमाणे अेकबिंदूपासून निघणारी प्रकाश ऊर्जा, सतत वाढत जाणाऱ्या आकारमानात वाटली गेलेली नाही. तर ही प्रकाशऊर्जा अवकाशात काही ठराविक बिंदूपाशी प्रकाशाच्या ठराविक प्रमाण स्वरुपात किंवा क्वांटाच्या स्वरुपात असते. हे प्रकाश क्वांटा पूर्णांक स्वरुपातच वापरले जातात. म्हणजे पूर्ण प्रकाश क्वांटाचे शोषण होते किंवा उत्स–र्जन होते. अपूर्ण प्रकाश क्वांटाचे शोषण किंवा उत्सर्जन अशी गोष्टच असत नाही. पैसा हे नाणे गणितात अपूर्णांकात मांडता येत असले तरी व्यवहारात पूर्णांकात असणारे पैसे वापरावे लागतात.

आता मी या विचाराप्रत कसा आलो त्याची कारण परंपरा सांगणार आहे.

रेझोनेटर्समधून बाहेर पडणारे किंवा त्यांच्याकडून शोषले जाणारे विकिरज याविषयीचा विचार जरा बाजूस ठेवून, रेणू व ऋणकण अकमेकावर आदळल्यावर त्यात जो गतिकशास्त्रीय समतोल असतो तो आपण विचारासाठी घेऊ. वायूच्या गतिक उपपत्तीवरून आपल्याला असे समजते की, ऋणकणाच्या अेकंदर सरासरी ऊर्जेचा ती अेक रेझोनेटर आहे असे समजून विचार केल्यास, ती ऊर्जा वायु-रेणूंच्या सरळ रेषेत चालू असणाऱ्या गतीमुळे त्याना प्राप्त होणाऱ्या सरासरी गतिक उर्जेइतकी असते. ऋणकणांच्या अवकाशातील गतीचे परस्पराशी काटकोन करणाऱ्या तीन दिशाकडे स्पंदन करणाऱ्या गतीमध्ये रुपांतर केले तर सरळ रेषेत असणाऱ्या स्पंदनाची सरासरी ऊर्जा E

$$E = \frac{R}{N} T$$ या समीकरणाने मिळते.

या समीकरणात R = केवळ वायुस्थिरांक असून, त्याचे मूल्य ८ . ३१५ X १०⁷ अर्ग दर सेन्टिग्रेड अंशास, असे आहे. N = ग्रॅम इक्वि-व्हॅलन्ट वायूतील कार्यकारी वायुरेणूंची संख्या आहे व T = केवळ तपमान आहे.

आता या सारखाच विचार रेझोनेटर आणि बंदिस्त जागेतील विकिरण यांच्यामधील प्रक्रियांच्या बाबतीत आपण करु. या दोहोमध्ये गतिक समतोल असण्यासाठी कोणती परिस्थिती असली पाहिजे, त्याचे प्लँकने गणित मांडले. त्या गणिताप्रमाणे

$$\overline{Ev} = \frac{L^3}{8 \pi v^2} Pv$$

या समीकरणात Ev ही v नैसर्गिक वारंवारता असलेल्या रेझोनेटरची सरासरी ऊर्जा आहे. L हा प्रकाशाचा वेग आहे. (दर सेकंदास २.९९८X१०¹⁰

सेन्टीमीटर) v ही वारंवारता आहे आणि Pv dv ही ज्या विकिरणांची वारंवारता व v + dv यामध्ये आहे, त्यांची दर अेकक आकारमानाची ऊर्जा आहे.

जर v वारंवारतेची विकिरण ऊर्जा सतत वाढत गेली नाही किंवा कमी होत गेली नाही, तर

$$\frac{R}{N}\ T = E = \overline{Ev} = \frac{L^3}{8\pi v^2} Pv$$

म्हणून

$$Pv = \frac{R}{N} \cdot \frac{8\pi v^2}{L^3} \cdot T$$

गणित समतोलाचे गणिताने काढलेले हे सूत्र प्रत्यक्ष अनुभवाना लागू पडत नाही असे आढळले. इतकेच नाही तर ईथर व वस्तुमात्र यांच्यामध्ये काही ठरा–विक विभागणी असण्याचा प्रश्नच उद्‌भवत नाही असे दिसते, कारण रेझोनेटरची वारंवारता जशी वाढवावी तशी बंदिस्त जागेतून उत्सर्जित होणारी विकिरण ऊर्जाही वाढत असते असे आढळते. रेझोनेटरची वारंवारता खूपच वाढली तर सरतेशेवटी उत्सर्जित होणारी विकिरण ऊर्जा अनंत होईल.

– – – – –

Pv या ऊर्जा घनतेचे मूल्य प्लँकच्या सूत्राप्रमाणे –

$$Pv = \frac{\propto v^3}{e^{\beta v/T} - 1}$$

असे येते व ते प्रत्यक्ष अनुभवाना लागू पडत असल्याचे दिसून येते. यात $\propto = ६.१०X१०^{-५६}$ $\beta = ४.८६६X१०^{-११}$ असे असून T/v चे मूल्य खूप मोठे असल्यास म्हणजे मोठ्या तरंगलांबीसाठी व मोठ्या विकिरण घनतेसाठी हे सूत्र

$$Pv = \propto v^2 T$$ असे होते.

मॅक्सवेल उपपत्ती व ऋणकण उपपत्ती यावरून काढलेले विकिरण घनतेचे मूल्य व हे मूल्य ही दोन्ही परस्पराशी मिळती जुळती आहेत. मॅक्सवेल उपप–त्तीच्या आधारे मांडलेल्या Pv चे मूल्य आणि हे मूल्य यांची तुलना केल्यास

$$\frac{R}{N} \cdot \frac{8\pi}{L^3} = \frac{\propto}{\beta}$$ असे सूत्र मिळते.

किंवा $$N = \frac{\beta}{\propto} \cdot \frac{8\pi R}{L^3} = ६.१७ \times १०^{२३}$$

असे सूत्र मिळते. म्हणून हायड्रोजनच्या अेका अणूचा भार १/N ग्रॅम म्हणजे १.६२x१७ $^{-२४}$ ग्रॅम इतका होतो. हायड्रोजनच्या अेका अणूचा भार इतकाच आहे असे प्लॅंकने सुद्धा गणिताने काढले होते. इतर संशोधकानीसुद्धा हायड्रोजनच्या अेका अणूचा भार इतकाच असल्याचे शोधून काढले होते.

- - - - -

कृष्ण पदार्थ विकिरणाविषयी केलेल्या संशोधनावरुन असे दिसते की वीनने मांडलेला विकिरण नियम म्हणजे त्याने मांडलेले सूत्र

$$P = \propto v^3 e^{-\beta v/T}$$

तितकेसे अचूक नाही. परंतु v/T या संख्येचे मूल्य खूप मोठे असल्यास वीनचे सूत्र बरोबर असल्याचे दिसून येते. या सूत्राच्या आधारे आपण गणित मांडले, तर काही ठराविक मर्यादामध्येच किंवा परिस्थितीमध्येच आपल्या गणिताचे निष्कर्ष बरोबर आहेत हे आपण लक्षात ठेवले पाहिजे.

वीनच्या सूत्रावरुन

$$\frac{1}{T} = -\frac{1}{\beta v} \log \frac{P}{\propto v^3}$$ असे सूत्र मिळते.

E ऊर्जा, व v आणि v+dv यामध्ये वारंवारता असलेल्या विकिरणांने v आकारमान व्यापले आहे असे आपण समजू या. ज्यावेळी विकिरण v_0 आकारमान व्यापते त्यावेळी त्याची अेन्ट्रॉपी S_0 असते. विकिरणान्नी व्यापलेल्या आकारमाना-प्रमाणे अेन्ट्रॉपी बदलत असल्यास,

$$S - S_0 = \frac{E}{\beta v} \log \left(\frac{{}^0 v}{v}\right)$$

या समीकरणाचा अर्थ असा होतो की आदर्श वायू किंवा सौम्य द्रावण यांची अेन्ट्रॉपी ज्याप्रमाणे आकारमानाप्रमाणे बदलते त्याचप्रमाणे अत्यंत अल्प घनता असलेल्या अेकवर्ण विकिरणांची अेन्ट्रॉपी त्यानी व्यापलेल्या आकारमानाप्रमाणे बदलते.

बोल्टझमने भौतिकीशास्त्रात समाविष्ट केलेल्या तत्वाप्रमाणे या समीकरणाचा अर्थ लावायचा आहे. बोल्ट्झमनच्या तत्वाप्रमाणे प्रणालीची अेन्ट्रॉपी त्या प्रणालीच्या परिस्थितीच्या संभवनीयतेवर अवलंबून असते.

विचारार्थ घेतलेल्या प्रणालीच्या प्राथमिक स्थितीची अेन्ट्रॉपी S_0 ने दाखवली असली व प्रणालीच्या सद्यस्थितीची अेन्ट्रॉपी S असण्याची संभवनीयता W असेल तर

$$S - S_0 = \frac{R}{N} \log W$$

असे समीकरण मांडता येते.

यानंतर आपण आता अेका विशिष्ट परिस्थितीचा विचार करु. v_0 या आकारमानामध्ये n ही गती असणारे बिंदू किंवा रेणू आहेत असे समजू या व फक्त यावरच आपले विचार केन्द्रित करु या. गती प्राप्त झालेल्या या रेणूखेरीज वेगळ्या प्रकारचे व गती प्राप्त झालेले इतर बिंदू किंवा रेणू त्या जागेत असणे शक्य आहे. विचारार्थ घेतलेल्या जागेतील गतीवान बिंदूच्या हालचालीला अेकच नियम लावता येतो असे समजू या. तो नियम असा की त्या जागेचा कोणताही भाग व गतीची कोणतीही दिशा यामध्ये आणि जागेचा इतर भाग आणि गतीच्या इतर दिशा यामध्ये भेद करता येत नाही. शिवाय विचारार्थ घेतलेल्या जागेमध्ये गतीवान बिंदू इतके कमी आहेत की अेका बिंदूच्या गतीचा दुसऱ्या बिंदूच्या गतीवर होणारा परिणाम विचारात घेतला नाही तरी चालण्यासारखे आहे.

आपण विचारार्थ घेतलेली प्रणाली अेखादा आदर्श वायू किंवा सौम्य विलयन असू शकेल व अशा प्रणालीची अेट्रॉपी S_0 आहे असे आपण समजू या. v_0 या आकारमानाचा अेक भाग v आहे व या v मध्ये n हे गतीवान बिंदू किंवा रेणू प्रणालीमध्ये इतर काही फरक न घडू देता आणले आहेत असे समजू या. या नवीन

प्रणालीची अेन्ट्रॉपी S असल्यास, S_0 अेन्ट्रॉपीचे S अेन्ट्रॉपीमध्ये होणाऱ्या रुपांत–राचा आपण बोल्ट्झमनच्या तत्वाप्रमाणे विचार करु या.

प्रणालीच्या प्राथमिक स्थितीच्या मानाने तिची नंतरची स्थिती प्राप्त होण्याची संभवनीयता किती आहे? किंवा कोणत्याही एका क्षणी इतरांच्या गतीवर काहीही परिणाम न घडू देता किंवा इतराच्या गतीचा आपणावर काहीही परिणाम न होऊ देता, गती प्राप्त झालेले n बिंदू v या आकारमानात येण्याचा संभव किती आहे ? या संवनीयतेचे मूल्य अर्थातच सांख्यिकी मूल्य आहे व ते

$$W = \left(\frac{v}{v_0} \right)^n$$

या समीकरणाने काढता येते.

आता बोल्ट्झमन तत्व, S_0 अेन्ट्रॉपीपासून S अेन्ट्रॉपी होण्याच्या रुपांतरास लावले, तर

$$S - S_0 = R \left(\frac{n}{N} \right) \log \left(\frac{}{v_0} \right)$$

असे समीकरण मिळते.

आकारमानाप्रमाणे बदलणाऱ्या अेकवर्ग विकिरणाच्या अेन्ट्रॉपीविषयीचे समीकरण आपण या आधीच काढले आहे व ते

$$S - S_0 = \frac{E}{\beta v} \log \left(\frac{v}{v_0} \right)$$

असे आहे. हेच समीकरण आपण

$$S - S_0 = \frac{R}{N} \log \left[\left(\frac{v}{v_0} \right)^{(N/E)\,(E/\beta v)} \right]$$

असे लिहिले व त्या समीकरणाची बोल्ट्झमनच्या तत्वाप्रमाणे मांडलेल्या समीकरणाबरोबर तुलना केली, म्हणजे

$$S - S_0 = \frac{R.}{N} \log W$$

या समीकरणाबरोबर तुलना केली, तर आपल्याला खालील निष्कर्ष काढता येतो.

" जर E ही ऊर्जा व v दारंवारता असलेले अेकवर्ण विकिरण, vo आकारमानाच्या जागेत बंदिस्त असले (परावर्तन करणाऱ्या भिंतीच्या सहाय्याने) तर कोणत्याही अेकाक्षणी विकिरणांची सर्व ऊर्जा vo संपूर्ण आकारमानाच्या v या अंश आकारमानात असण्याची संभवनीयता

$$W = \left(\frac{v}{v_0}\right)^{(N/E))}\left[^{E/(\beta v)}\right.$$

या समीकरणाने मिळते.

यावरून आपण पुढचा निष्कर्ष काढू शकतो.

वीनच्या विकिरण नियमात बसू शकतील अशा अल्प घनतेच्या अेकवर्ग विकिरणांची वर्तणूक उष्णता उपपत्तीच्या दृष्टीने, त्यामध्ये स्वतंत्र ऊर्जा क्वांटा आहेत अशा प्रकारची असते व त्या ऊर्जा क्वांटाचे मूल्य $R\beta v/N$ इतके असते.

– – – – –

जर पुरेशा कमी घनतेचे अेकवर्णीय विकिरण त्यांच्या अेन्ट्रॉपीच्या आकारमानावरील अवलंबनाच्या बाबतीत $R\beta v/N$ ऊर्जा क्वांटम असलेल्या खंडित माध्यमासारखे वागत असतील, तर त्या बाबतीत काय करायचे ते उघड आहे. प्रकाशाचे संवेदन व परिवर्तन याविषयीच्या नियमांचे परीक्षण करून त्या नियमात बसणाऱ्या ऊर्जा क्वांटा या प्रकाशात आहेत की नाही ते पाहायचे हा सरळ मार्ग आहे. या प्रश्नाचा आपण आता विचार करू या.

घनवस्तू प्रकाशित करुन कॅथोड किरणांची निर्मिती

विकिरण ज्या अवकाशातून गेलेले असतात, त्या सर्व अवकाशात प्रकाश ऊर्जा विभागली गेलेली असते असे सर्वसाधारणत: मानतात. प्रकाशीय विद्युत परिणामाचे स्पष्टीकरण, या सर्वसाधारण समजुतीच्या आधारे करता येत नाही, असे लेनार्डने आपल्या संशोधनाने सिद्ध केले आहे.

संवेदना निर्माण करणाऱ्या प्रकाशामध्ये (R/n) βv इतके ऊर्जा क्वांटा असतात असे धरुन प्रकाशित वस्तूमध्ये कॅथोड किरणांची निर्मिती पुढे दिल्याप्रमाणे समजावून देता येते. वस्तूवर प्रकाश विकिरण पडल्यावर त्या वस्तूच्या पृष्ठ–

भागाच्या स्तराखाली ऊर्जा क्वांटा प्रवेश करतात. त्यांच्या ऊर्जेचे निदान विभागश: तरी ऋणकणांच्या गतिक ऊर्जेमध्ये रुपांतर होते. याबाबतीतला अेक सोपा विचार असा की प्रकाश क्वांटा आपली सर्व ऊर्जा अेका ऋणकणाला देतात. प्रत्यक्ष प्रकार असाच असतो असे आपण समजू या. प्रकाश क्वांटाची सर्वच्या सर्व नाही, पण थोडीशी ऊर्जा ऋणकणाने घेतली जाण्याची शक्यता नाकारता येत नाही. वस्तुमधल्या ऋणकणाला गतिक ऊर्जा प्राप्त झाल्यावर तो वस्तूच्या पृष्ठभागापर्यन्त येतो. तो पृष्ठभागापर्यंत येईपर्यन्त त्याची ऊर्जा थोडीशी कमी होते. वस्तूतून बाहेर पडायला प्रत्येक ऋणकणाने त्या वस्तूचे वैशिष्ठतादर्शक असे कार्य केले पाहिजे असेही आपण धरायला पाहिजे. पृष्ठभागावरच्या ऋणकणाला संवेदना प्राप्त झाली आणि त्याची गती पृष्ठभागाशी काटकोन करणाऱ्या दिशेने पृष्ठभाग सोडून जास्तीत जास्त वेगाने बाहेर धाव घेईल. अशा ऋणकणाची गतिक ऊर्जा $\left(\frac{R}{N} \beta v - P \right)$ इतकी असणार.

आता वस्तूवर घन विद्युतविभव येण्याची व्यवस्था केली आणि तिच्या भोवती शून्य विद्युतविभव असणारे विद्युतवाहक असले आणि त्यामुळे वस्तूतून विद्युत बाहेर जाण्याचे थांबत असेल तर

$He = \frac{R}{N} Bv\text{-}P$ असे समीकरण मिळते. या समीकरणात ऋणकणावरचा विद्युतभार e आहे असे धरले आहे.

वर दिलेले समीकरण किंवा $HE = R\beta v - P'$ असे समीकरणे मिळते. या समीकरणात E हा अेक संयुज्यता असलेल्याग्रॅम समतुल्य आयनावरील विद्युत-भार असून, P' हे तद्संबंधित ऋणविद्युतविभव आहे.

E चे मूल्य ९.६ X१० ^{५} (विद्युत चुंबकीय अेकक) असे धरले तर HX१० $^{-८}$ हे हे वस्तूवर विकिरण पडल्यावर तिचे झालेले व व्होल्टमध्ये मोज-लेले विद्युतविभव होय.

आपण गणिताने काढलेली ही मूल्ये प्रत्यक्ष प्रयोगांती बरोबर ठरतात की नाही हे पाहाण्यासाठी P = o,, v = D-•३x१० ^{१५} (सूर्याच्या वर्णपटातील नीलातील कडेकडच्या सीमेशी संबंधित मूल्ये) आणि $\beta =$ ४.८६६x $^{-११}$ असे समजू या. ही मूल्ये आपण काढलेल्या समीकरणात वापरल्यास, H = ४.३ व्होल्ट असे उत्तर येते. हे उत्तर लेनार्डने प्रयोगानी ठरवलेल्या मूल्याशी जुळते.

आपण काढलेले सूत्र वा समीकरण बरोबर असेल, तर संवेदना घडवून आणणाऱ्या विकिरणांच्या वारंवारतेशी H च्या मूल्यांचा काढलेला आलेख सरळ रेषाकार असायला पाहिजे. या सरळ रेषेच्या उतार प्रमाणाचा, ज्या वस्तूवर विकिरण पडतात त्या वस्तूच्या स्वरुपाशी संबंध असणार नाही. म्हणजे आलेखा-तील सरळ रेषेचे उतारप्रमाण ज्या वस्तूवर विकिरण पडतात त्या वस्तूच्या स्वरुपावर अवलंबून असणार नाही.

आम्ही मांडलेले विचार लेनार्डने निरीक्षिलेल्या प्रकाशीय विद्युत परिणामाच्या विरुद्ध नाहीत. दोहोत बराच सारखेपणा आहे. जर संवेदना निर्माण करणाऱ्या विकिरणांच्या ऊर्जा क्वांटानी आपली ऊर्जा, इतर गोष्टी विचारात न घेता, ऋण कणाला दिली तर ऋणकणांच्या वेग विभागणीचा म्हणजे निर्माण झालेल्या कथोड किरणांच्या गुणवत्तेचा संवेदना घडवून आणणाऱ्या विकिरणांच्या प्रखरतेशी संबंध असणार नाही. किंवा ही गुणवत्ता विकिरणांच्या प्रखरतेवर अवलंबून असणार नाही. त्या उलट परिस्थितीत बदल नसता, वस्तुतून बाहेर पडणाऱ्या ऋणकणांची संख्या संवेदना घडवून आणणाऱ्या विकिरणांच्या प्रखरतेवर किंवा तीव्रतेवर अवलंबून राहील.

आइनस्टाइनचे समीकरण खाली दिलेल्या दोन प्रकारे मांडतात.

$$\frac{1}{2}mv^2 = hv - p$$

किंवा $$Ve = hv - p$$

पहिल्या समीकरणात m = ऋणकणाचा भार, v = पृष्ठभागावरुन ऋणकण ज्या वेगाने उत्सर्जित होतात तो वेग $\frac{1}{2}mv^2$ ही अर्थात ऋणकणाची गतिक ऊर्जा आहे. दुसऱ्या समीकरणात ऋणकणाने पृष्ठभागावरुन उत्सर्जित होऊ नये यासाठी लागणारे विरोधक किंवा मागे खेचणारे विद्युत विभव होय. दोन्ही समीकरणात hv ही वस्तूवर पडणाऱ्या प्रकाश क्वांटाची ऊर्जा आहे व ती ऊर्जा ऋणकणाला मिळते. p=ऋणकण पृष्ठभागापर्यंत आणून, पृष्ठभागावरुन उत्सर्जित करण्यासाठी लाग-णारी ऊर्जा होय. hv ऊर्जा p हून कमी असल्यास, ऋणकण पृष्ठभागावरुन उत्स-र्जित होत नाही.

मिलिकन व त्याचे सहकारी यानी आइनस्टाइनचे समीकरण बऱ्याचशा वारं-वारतांच्या बाबतीत लावता येते व लागू पडते असे शिकागो येथील रायरसन प्रयोग

शाळेत केलेल्या प्रयोगानी सिद्ध केले. मिलिकनने प्रयोगाद्वारे मिळविलेली माहिती १९१६ साली प्रसिद्ध केली आहे.

आता आपण सापेक्षतावाद उपपत्ती विचारात घेऊ. ती उपपत्ती फारच गणिती स्वरुपाची व समजायला कठीण असल्याने, तिचे सर्वसाधारण स्वरुप व ती कशी अस्तित्वात आली या विषयीची माहिती येथे दिली आहे. फार खोलात जाण्याचा प्रयत्न केलेला नाही.

प्राथमिक यंत्रशास्त्राचा ज्याने अभ्यास केला आहे, त्याच्या दृष्टीने सापेक्षतावाद ही काही अेकदम नवी गोष्ट नाही. अेका पदार्थाची दुसऱ्या पदार्थाच्या गतीच्या मानाने गती किंवा दोन गतीमान पदार्थांची परस्पर विशेष गती यांचा प्राथमिक यंत्रशास्त्रात अभ्यास करावा लागतो. पण तो अभ्यास करीत असता किंवा दोन गतीमान पदार्थांच्या परस्परविशेष गतींचा विचार करीत असता, आपण जीवर राहतो ती पृथ्वी स्थिर आहे असे समजून विचार होत असतो. तसे पाहू गेल्यास, विज्ञान जन्माला आले त्याचवेळी सापेक्षतावादाचा जन्म झाला. पुराण काळात पृथ्वी स्थिर आहे असे धरुन आकाशस्थ ग्रहांच्या गतीचे वर्णन त्या काळातील शास्त्रज्ञानी केले होते. कोपरनिकस या शास्त्रज्ञानी सूर्य स्थिर आहे असे धरुन पृथ्वी सुद्धा इतर ग्रहांच्या गती दिल्या आहेत. न्यूटन सूर्य मालिकेच्याही पलीकडे जाऊन पोचला. पण त्याला कोणताही ग्रह किंवा तारा स्थिर नाही असे आढळले. त्यामुळे आत काहीही नसलेल्या अवकाशाची कल्पना त्याने विचार सृष्टीत आणली, आणि अवकाश स्थिर आहे, किंवा तो frame of reference (संदर्भ चौकट) आहे असे धरुन त्यान सूर्याच्या व ग्रहांच्या गती वर्णन केल्या आहेत. प्रकाशाच्या तरंग उपपत्तीचा उदय झाल्यानंतर, तरंग असण्यासाठी काही तरी माध्यम असण्याची आवश्यकता निर्माण झाली. तेव्हा न्यूटन ज्याला आंत काहीही नसलेला अवकाश म्हणत होता त्याला सर्व व्यापी ईथर असे नाव मिळाले. मॅक्सवेलने भविष्य वर्तविलेल्या हे विद्युत चुंबकीय तरंगासाठी याच ईथराचा माध्यम म्हणून उपयोग झाला. हे हर्टझने विद्युतचुंबकीय तरंग एका ठिकाणाहून दुसरीकडे पाठवता येतात याचे प्रात्यक्षिक करुन दाखवले. ईथर स्थिर असेल व त्यातून जांणाऱ्या प्रकाशाला ठराविक वेग असेल तर ईथरच्या मानाने पृथ्वीचा वेग काय असावा हे काढता येते. पृथ्वीचा वेग काढण्यासाठी बऱ्याच शास्त्रज्ञानी प्रयत्न केला आहे. मायकेलसन व मोर्ले यानी प्रकाशाचा वेग ठरविण्यासाठी केलेले प्रयोग जास्त प्रसिद्ध आहेत. पण या सर्व प्रयत्नामध्ये अेक

दोष राहून गेला आहे. ईथरशी संबंधित किंवा ईथरच्या मानाने पृथ्वीची गती टिपण्यात हे सर्व प्रयत्न अयशस्वी ठरले आहेत. ईथरशी संबंधित अशी किंवा ईथरच्या मानाने पृथ्वीला गती का नाही हे सांगण्यासाठी वेगवेगळी स्पष्टीकरणे देण्यात आली आहेत. पृथ्वीच्या अगदी नजिकच्या सान्निध्यातला ईथर, पृथ्वी अवकाशात भ्रमण करीत असता तिच्या बरोबर ओढला किंवा खेचला जातो आणि त्यामुळे ईथरमध्ये पृथ्वीला काही गती आहे असे समजून येत नाही असे सांगण्यात आले. पण ही सर्व स्पष्टीकरणे मान्य करण्यात काही ना काही अडचणी येतात.

विद्युत क्षेत्रात अेका विशिष्ट बिंदूशी सबंधित असणारे वैद्युती व चुंबकीय गुणधर्म यांची सांगड घालणाऱ्या मॅक्सवेलच्या सहासमीकरणांच्या बाबतीतही अडचणी निर्माण होतात. ज्यावेळी अशा बिंदूचे कोऑर्डीनेट म्हणजे क्ष व य अक्षापासूनची अंतरे बदलून त्यांच्या अैवजी नवीन कोऑर्डीनेट येतात व हे नवीन कोऑर्डीनेट नव्या क्ष व य अक्षापासूनची अंतरे देतात. त्यावेळी कोऑर्डीनेटमधील बदल न्युटोनियन यंत्रशास्त्रातील रुपांतरांच्या नियमाना धरुन केला असल्यास, मॅक्सवेल-च्या समीकरणांचे स्वरुप बदलते. तरीसुद्धा अेका बिंदूपाशी असणाऱ्या वैद्युती व चुंबकीय परिस्थितीमध्ये बिंदूचे स्थान वर्णन करण्यासाठी वापरायच्या कोऑर्डीनेट प्रणालीतील फरकाचा फारसा परिणाम घडून येत नाही. उदाहरणार्थ एखाद्या तारेच्या वेटोळ्याच्या जवळ तर एखादा चुंबक हलवला तर त्या वेटोळ्यामध्ये वैद्युती व चुंबकीय परिणाम घडून येतात. पण ज्यावेळी न्यूटोनियन रुपांतराचे नियम अक्षांच्या बदलाला लावण्यात आले, म्हणजे तारेच्या वेटोळ्याच्या ऐवजी (स्थिर प्रणाली) चुंबकाचे (चलप्रणाली) कोऑर्डीनेट सांगायला गेले, तर मॅक्सवेलचे समीकरण वेगळ्याच स्वरुपात मांडावे लागते, व ते नवीन समीकरण तारेचे वेटोळे व त्या भोवताली वेगळीच चुंबक वैद्युती व चुंबकीय परिस्थिती दर्शवते. तरी सुद्धा नेहमीचा अनुभव असा आहे की तारेच्या वेटोळ्याकडे हलवला काय की तारेचे वेटोळे चुंबकाकडे हलवले काय यात काहीही फरक नाही. विचार करावा लागतो तो फक्त सापेक्ष हालचालीचा.

हा प्रश्न सोडवण्याचा पहिला यशस्वी प्रयत्न अेच्. अे. लॉरेन्ट्झने केला. चल प्रणालीमध्ये दिसून येणाऱ्या वैद्युती–चुंबकीय परिणामाविषयी त्याने १९०४ मध्ये अेक संशोधन निबंध प्रसिद्ध केला. त्या संशोधन निबंधात त्याने अेका उप–पत्तीचा खूप उपयोग केलेला आहे. ती उपपत्ती त्याने व डब्लिनच्या जी. अेफ्–फिट्झजेरल्डने स्वतंत्रपणे १८९२ मध्ये मांडली होती. त्यावेळी नुकत्याच पार पाड-

पाडले मायकेलसन-मोर्ले प्रयोगात असे दिसून आले होते की मापनसळी ईथरमध्ये किंवा अवकाशामध्ये हलविल्यास, मापनसळीची गती ज्या दिशेने होत असते, त्या दिशेकडे मापनसळीचे आकुंचन अशाप्रकारचे असते की पृथ्वीचा ईथरशी सापेक्ष वेग झाकला जातो व लक्षात येत नाही. या गोष्टीचे स्पष्टीकरण देण्यासाठी लॉरेन्ट्झ व फिट्झजेरल्ड यानी ती उपपत्ती सुचवली होती. लॉरेन्ट्झने आपल्या उपपत्तीच्या आधारे जी रुपांतराची पद्धत बसवली, ती मॅक्सवेलच्या समीकरणाना लावण्यात तो अत्यंत यशस्वी ठरला, व त्याचे हे संशोधन त्याच्या मानाचा तुरा ठरला. लॉरेन्ट्झने या संशोधनात बसवलेली रुपांतर पद्धती यानावाने प्रसिद्ध असून वैद्युती गतिकशास्त्रात चल वस्तूंचा विचार करताना ती न्यूटनच्या रुपांतर पद्धतीऐवजी वापरण्यात येते.

प्लॉरेन्ट्झचे हे संशोधन व त्याची रुपांतर पद्धती आइनस्टाइनच्या वाचनात आली नव्हती. त्यामुळे त्याने याच प्रश्नासंबंधी संशोधन करुन ' चल वस्तूंचे वैद्युती गतिकशास्त्र' या शीर्षकाखाली १९०५ साली एक संशोधन निबंध प्रसिद्ध केला. लॉरेन्ट्झने ज्या पद्धतीने या प्रश्नाचा विचार केला होता तीपेक्षा अगदी वेगळ्याच तऱ्हेने आइनस्टाइनने या प्रश्नाचा विचार केला. लॉरेन्ट्झने आपल्या कार्यपद्धतीत ईथरला प्रमुख स्थान दिले होते. आइनस्टाइनने ईथर अजिबात विचारात घेतला नाही. त्याऐवजी त्याने दोन अुपपत्त्या आधारभूत मानल्या. पहिल्या अुपपत्तीत मॅक्सवेलची समीकरणे बरोबर आहेत व ती चलवस्तूंच्या वैद्युतीगतिक शास्त्रीय विचारात वापरता यावीत असे त्याने मान्य केले. त्या अुपपत्तीप्रमाणे " यंत्र-शास्त्रातील समीकरणे ज्या बाबतीत यशस्वीरीत्या लावता येतात, त्या सर्व बाब-तीत वैद्युती गतीकशास्त्र आणि प्रकाशशास्त्र यातील मॅक्सवेलचे नियम लागू पडले पाहिजेत. " या उपपत्तीला आइनस्टाइनने सापेक्षतावादाचे तत्व असे नाव दिले दुसऱ्या अुपपत्तीप्रमाणे " अवकाशात प्रकाश ज्या वेगाने जातो, त्या वेगाचा चल वस्तूंच्या गतिस्थितीशी काही संबंध असत नाही. " लॉरेन्ट्झच्या ईथर अुपपत्तीत, आइनस्टाइनच्या या अुपपत्तीतील तत्व स्पष्टपणे अभिप्रेत होते. पण ईथर विचा-रात घ्यायचा नाही असे ठरविल्याने आइनस्टाइनला ही उपपत्ती मांडावी लागली.

यानंतर प्रकाशाच्या वेगाची अविचलता सापेक्षतावादाच्या तत्वाशी सुसंगत आहे व पृथ्वीच्या वेगासहित प्रकाशाच्या वेगाचा म्हणजे प्रकाशाच्या वेगाहून कमी वेगासहित प्रकाशाच्या वेगाचा विचार केल्यास, प्रकाशाच्या वेगात फरक होत नाही, असे त्याने दाखविले, आणि मायकेलसन मोर्ले प्रयोगात मिळालेल्या

नकारात्मक माहितीचे स्पष्टीकरण दिले. प्रकाशाचे निरीक्षण करणारा अेका जागी स्थिर असला किंवा त्याला चल गती प्राप्त झाली असली तरी प्रकाशाच्या वेगात फरक होत नाही. तो कायम असतो हे सापेक्षतावादाचे प्रमुख तत्व झाले. त्यानंतर मॅक्सवेलची समीकरणे विचारात घेऊन, आइनस्टाइनने रुपांतराची अेक नवीन पद्धत बसवली. ही पद्धत लॉरेन्ट्झच्या रुपांतर पद्धती सारखीच व तिच्या तोडीची होती. ही पद्धत यंत्रशास्त्रात वापरल्यास, वस्तूना अत्यंत मोठा वेग असल्यास, त्यांची वागणूक किंवा त्यांचे गुणधर्म काही तरी वेगळयाच प्रकारचे असायला पाहिजेत असे अनुमान निघत होते. परंतु हे अनुमान मान्य करायला फारच थोडया शास्त्रज्ञांची तयारी होती.

यानंतर सापेक्षतावादाच्या प्रगतीचा पुढचा टप्पा हर्मान मिंकोवस्की या शास्त्रज्ञाने गाठला. स्थिर अक्षापासून चल अक्षाना न्यूटन–पद्धतीने रुपांतर करायचे असल्यास, काळ तोच असतो. म्हणजे कालमूल्यात काही फरक होत नाही. परंतू स्थिर अक्षापासून चल अक्षाना रुपांतर करताना, अवकाशाच्या तीन को–ऑर्डीनिट-मध्ये फरक घडून आल्यास, कालमूल्यातही फरक घडून येतो, असे लॉरेन्ट्झला आढळले होते. स्थिर अक्ष असताना असणारे काळमूल्य यातला फरक स्पष्ट करण्यासाठी चल अक्ष असताना असणाऱ्या कालमूल्याला ' स्थानिक काल ' अशी संज्ञा त्याने वापरली होती. स्थिर अक्ष असताना असणारे कालमूल्य आणि अक्ष असताना असणारे कालमूल्य यांचा परस्परसंबंध काय असावा याविषयीचा उहापोह आइनस्टाइनने १९०५ साली प्रसिद्ध केलेल्या संशोधन निबंधात आहे. त्या उहापोहाचा निष्कर्ष त्याने असा काढला की ' अेकाच वेळी घडणाऱ्या गोष्टी ' या म्हणण्यात काही तथ्य नाही, कारण ज्या गोष्टी स्थिर अक्षांच्या प्रणालीकडून निरीक्षल्या असता, अेकाच वेळी घडल्यासारख्या वाटतात, त्याच गोष्टी पहिल्या प्रणालीच्या मानाने दुसऱ्या चल प्रणालीकडून निरीक्षल्या असता, अेकाच वेळी घडत आहेत असे आढळून येत नाही. अेखाद्या घटनेचे वर्णन करण्यासाठी चार को-ऑर्डीनिट (x, y, z, t) सांगितले पाहिजेत असे त्याने ठरवले. त्यापैकी x, y, z हे बिंदूचे अवकाशातील तीन कोऑर्डीनिट आहेत व घटना जेथे होते त्या स्थानाच्या तीन अक्षाशी त्यांचा संबंध आहे. आणि t हा घटना घडण्याचा काळ आहे, जेथे ही घटना घडून येते त्या बिंदूचे चल अक्षाशी संबंधित. कोऑर्डीनिट x', y', z', असेल तर घटनेचे कालमूल्य सुद्धा t अैवजी t' व्हयला पाहिजे. म्हणजे घटनेचे कोऑर्डीनिट आता x', y', z', t' असे होतील. येथपर्यंत

विचार मांडताना आइनस्टाइनने अवकाश व काल भिन्न आहेत असे म्हटले आहे परंतु मिंकोवस्कीने चार-मिती अवकाश काळामध्ये जगत् बिंदूचे x y z व t हे चार कोऑर्डीनेट आहेत असे म्हणून त्या दोघात अतूट संबंध जोडून दिला आहे. असे केल्यानंतर सर्व साधारण भूमीतीमध्ये जसा अवकाशाचा विचार करता येतो तसा अवकाश काल माध्यमाच्या गुणधर्मांचा अभ्यास करता येतो असे त्याने दाखवले आहे.

१९१६ मध्ये आइनस्टाइनने सापेक्षतावादाचा दुसरा संशोधन निबंध प्रसिद्ध केला. त्या निबंधात त्याने सापेक्षतावादाची सर्वसाधारण उपपत्ती मांडली आहे. सर्वसाधारण उपपत्ती म्हणण्याचे कारण या उपपत्तीमध्ये त्वरण दिलेल्या चल अक्षाना उद्देशून असलेल्या प्रणालींचा समावेश केलेला आहे. तर या उलट प्रथमत: मांडलेल्या सापेक्षतावादाच्या उपपत्तीत ठराविक वेग असलेल्या चल अक्षाना उद्देशून असलेल्या प्रणालींचा विचार आहे. या संशोधन निबंधात आइनस्टाइनने त्याचे. मानले गेलेले मूलभूत आधारातत्व मांडले आहे. " भौतिकीशास्त्राचे नियम अशा प्रकारचे असावेत की ते कोणत्याही प्रकारची गती प्राप्त झालेल्या प्रणालीना लावता आले पाहिजेत " मिंकोवस्कीच्या चार–मिती अवकाश काल माध्यमाचा आणि रिकी व सिव्हिटा या दोघा इटालियन गणिततज्ञाच्या टेन्सॉर ॲनालिसिस पद्धतीचा भरपूर उपयोग करुन, त्याने आपल्या उपपत्तीचे काय अर्थ होतात ते तपशीलात मांडले आणि त्यावरुन न्यूटनच्या गुरुत्वाकर्षण नियमापेक्षा जास्त सर्व–साधारण स्वरुपाचा गुरुत्वाकर्षण नियम त्याने मांडला.सर्वसाधारण परिस्थितीत दोन्ही नियम जवळ जवळ एकच गोष्ट सांगून जातात. बुध ग्रहाच्या पेरिहेलिऑनचे स्पष्टी-करण जुन्या नियमाच्या आधारे देता येत नव्हते. ते आइन्स्टाइनच्या नव्या नियमा–च्या आधारे देता आले. खूप शक्तिशाली गुरुत्वाकर्षण क्षेत्रामध्ये वर्णपट रेषांचे विस्थापन व्हायला पाहिजे व अशा खूप शक्तीशाली गुरुत्वाकर्षण क्षेत्रातून प्रकाश–किरण गेल्यास, त्या किरणाचे वक्रीभवन व्हायला पाहिजे असेही निष्कर्ष आइनस्टा–इनच्या उपपत्तीतून निघत होते. २९ मे १९१९ रोजी झालेल्या खग्रास सूर्यग्रहणाच्या वेळी यापैकी दुसरा निष्कर्ष बरोबर असल्याचे समजून आले.

संशोधनाचे परिणाम

सापेक्षतावादाची अुपपत्ती मांडताना आइनस्टाइनने निष्कर्षरुपाने मांडलेला अेक नियम फारच महत्वाचा ठरला आहे. अेखाद्या पदार्थाने विकिरण स्वरुपात

ऊर्जा–उत्सर्जन केले तर त्या पदार्थातून बाहेर पडलेली ऊर्जा भागिले प्रकाशाचा वेग यांच्या भागाकाराइतका त्या पदार्थाचा भार कमी होतो आणि पदार्थाच्या ऊर्जेत वाढ झाल्यास, पदार्थाच्या भारातही वाढ होते. पदार्थाचा भार त्या पदार्थाच्या ठायी असणाऱ्या ऊर्जेचे अेक माप आहे, व त्या दोहोंचा अन्योन्य संबंध भार

$$\text{(ग्रॅममध्ये)} = \frac{\text{उर्जा (अर्गमध्ये)}}{C^2}$$

या समीकरणाने सांगता येतो.

या समीकरणात c हा प्रकाशाचा वेग असून तो दर सेकंदास ३×१०¹⁰ सेन्टीमीटर आहे. हेच समीकरण $E = mc^2$ असेही मांडण्यात येते. यात E म्हणजे ऊर्जा, m म्हणजे भार व c म्हणजे प्रकाशाचा वेग असे धरतात. अती वेगवान कणांच्या बाबतीत या समीकरणास विशेष अर्थ प्राप्त होतो. अती वेगवान कणांचा वेग जवळजवळ प्रकाशाच्या वेगाइतका असल्याने, अशा कणांचा भार वाढला आहे असे धरून गणित मांडले जाते. आइनस्टाइनच्या या समीकरणास प्रायोगिक पुरावा मिळाला आहे हे विशेष आहे. सायक्लोट्रॉनमध्ये कणांना वेग देण्यावर अेक मर्यादा पडते याचे कारण कणाचा वेग वाढत वाढत प्रकाशाच्या वेगाच्या जवळपास आला तर त्याच्या भारात फरक पडतो. त्यामुळे कणास सायक्लोट्रॉनमध्ये प्रदक्षिणा करण्यास लागणाऱ्या वेळात फरक पडतो, आणि त्यामुळे त्याचा वेग सतत वाढवता येत नाही. अॅन्डरसन या संशोधकाने १९३३ मध्ये लावलेल्या शोधाचे स्पष्टीकरणही आइनस्टाइनच्या या समीकरणाच्या सहाय्याने देता येते. गॅमा किरण अणुगर्भावर आदळल्यास धनविद्युतभारवाही पॉझिट्रॉन व ऋणविद्युत भारवाही ऋणकण किंवा अिलेक्ट्रॉन मिळतात असे अॅन्डरसनला आढळले होते. गॅमा किरणांच्या चल ऊर्जेपैकी काही ऊर्जेचे रुपांतर या दोन कणांच्या भारामध्ये होते व भारात रूपांतर न झालेली ऊर्जा या कणांना मिळून, त्याना गती प्राप्त होते असे अॅन्डरसनने म्हटले आहे.

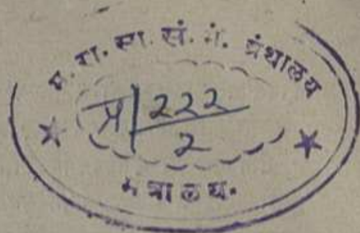
आइनस्टाइनने त्यानंतर 'अेकत्रित क्षेत्र उपपत्ती' नावाची अेक नवीन उपपत्ती मांडली आहे. या उपपत्तीत त्याने सापेक्षतावाद उपपत्ती व विद्युतचुंबकीय क्षेत्र उपपत्ती या दोहोंचा समन्वय घालण्याचा प्रयत्न केला आहे. परंतु या नवीन उपपत्तीस प्रायोगिक पुरावा कसा मिळवायचा हा प्रश्न अद्यापी सुटला नाही.

अणुबॉम्ब पडल्यावर युरेनियमचे विघटन घडून येते किंवा त्या अणूचे तुकडे होतात. या विघटन क्रियेच्या वेळी काही भाराचे ऊर्जेत रुपांतर होत असल्याने,

मोठया प्रचंड प्रमाणात ऊर्जा निर्मिती होते. सेकंदाच्या दशलक्षांश भागात होणाऱ्या प्रचंड ऊर्जा निर्मितीमुळे, अणुबॉम्बला संहारक स्वरुप प्राप्त होते. अणुभट्टीमध्येसुद्धा भाराचे ऊर्जेचे रुपांतर होत असते. त्यामुळे थोडेसे युरॅनियम वापरले जाऊन, सतत ऊर्जानिर्मिती चालू ठेवता येते.

सूर्यामध्ये चार हायड्रोजन अणूपासून अेक हेलियम अणू निर्माण होण्याची क्रिया सतत चालू असते. या क्रियेच्या वेळी भाराचे ऊर्जेत रुपांतर होत असल्याने सूर्याचे तपमान नेहमीच दहाहजार अंशावर असते.





१९२२

नील्स होन्रिक डेव्हिड बोर

(१८८५ - १९६२)

" अणुरचना व अणुपासून निघणाऱ्या विकिरणाविषयीच्या अभ्यासाबद्दल नोबेल पारितोषिक "

चरित्र

७ ऑक्टोबर १८८५ रोजी डेनमार्कची राजधानी कोपनहेगन येथे नील्स बोअरचा जन्म झाला. त्याचे वडील कोपनहेगन विद्यापीठात शरीरविज्ञान शास्त्राचे प्राध्यापक होते. कोपनहेगनमधील गॅमेलहोल्म ग्रामर स्कूलमध्ये त्याचे शालेय शिक्षण झाले. वडीलांच्या मार्गदर्शनामुळे त्याला भौतिकीशास्त्राची गोडी लागली व त्या शास्त्राचा त्याने विशेष अभ्यास सुरू केला. शालेय शिक्षण पूर्ण झाल्यानंतर १९०३ साली त्याने कोपनहेगन विद्यापीठात प्रवेश मिळविला व तेथील भौतिकी-शास्त्राचे प्राध्यापक प्रो. ख्रिश्चनसन यांच्या मार्गदर्शनाखाली भौतिकीशास्त्राचा सखोल अभ्यास केला. पदवीधर झाल्यानंतर भौतिकीशास्त्राचा अभ्यास तसाच पुढे चालू ठेवून, १९०९ मध्ये त्याने अेम्. अेस्सी. पदवी व १९११ मध्ये पीअेच्. डी. पदवी संपादन केली. धातूंच्या गुणधर्मांचे स्पष्टीकरण ऋणकण उपपत्तीच्या सहा-य्याने करण्याबद्दल त्यास पीअेच्. डी. पदवी मिळाली होती. पीअेच्. डी. पदवी घेतल्यानंतर केम्ब्रिजच्या कॅव्हेन्डिश प्रयोगशाळेत प्रो. जे. जे. थॉमसन यांच्या मार्ग-दर्शनाचा लाभ घेण्यासाठी त्याने इंग्लंडला प्रयाण केले. प्रो. जे. जे. थॉमसन यांच्या हाताखाली साधारण अेक वर्षभर काम केल्यानंतर तो १९१२ मध्ये मँचेस्टरच्या व्हिक्टोरिया विद्यापीठात प्रोफेसर रदरफोर्ड यांच्या मार्गदर्शनाखाली संशोधन करू लागला. प्रो. रदरफोर्ड यांच्या हाताखाली अणुरचनेविषयी संशोधन केल्यानंतर तो

कोपनहेगनला परतला व तेथल्या विद्यापीठात अध्यापन कार्य करु लागला. अेक वर्ष त्या कामाचा अनुभव घेतल्यानंतर तो मँचेस्टरला परतला व १९१४ ते १९१६ ही दोन वर्षे तो मँचेस्टर विद्यापीठात गणिती भौतिकीशास्त्राचा दुय्यम प्राध्यापक होता. १८१६ मध्ये कोपनहेगन विद्यापीठाने त्यास तात्त्विक भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक नेमले. ते काम चार वर्षे केल्यानंतर १९२० मध्ये, तात्त्विक भौतिकी–शास्त्राच्या विशेष अभ्यासासाठी कोपनहेगन विद्यापीठाने मुद्दाम स्थापन केलेल्या संस्थेचे संचालकपद त्याच्याकडे आले, व त्या संस्थेमध्येच त्याचे बहुतेक सर्व संशो–धन पार पडले आहे.

युरोपातील व अमेरिकेतील बऱ्याचशा विज्ञानसंस्थांनी त्यास आपला मान–नीय सभासद करुन घेतले आहे. लंडनच्या रॉयल सोसायटीने त्यास १९२६ मध्ये आपला परदेशस्थ सभासद करून घेतले. जगातल्या बऱ्याचशा नामवंत विद्या–पीठानी त्यास माननीय डॉक्टरेट पदवी बहाल करुन आपली गुणग्राहकता व्यक्त केली आहे. अणुविज्ञान शास्त्रातला अेक प्रथम श्रेणीचा तज्ञ अशी त्याची कीर्ती सर्व जगभर पसरली होती.

१९३९ च्या जून महिन्यात वॉशिंग्टन येथे भरलेल्या पाचव्या आंतरराष्ट्रीय भौतिकीशास्त्र परिषदेस हजर राहून, जर्मनीमध्ये ऑटोशन व स्ट्रासमन यानी केलेल्या प्रयोगात अणुविभाजन होत असते असे किसी मेटनर हिने काढलेले अनु–मान बरोबर असल्याचे बोरने सांगितले. त्यानंतर दोन अडीच महिन्यात त्याने फिजिकल रेव्हयू या नियतकालिकात अणुविभाजन कसे होत असावे या विषयीची उपपत्ती मांडली. सध्या बोरच्या त्या उपपत्तीस मान्यता मिळाली आहे.

१८ नोव्हेंबर १९६२ रोजी त्यास कोपनहेगन येथे मृत्यूने गाठले.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

१८९७ मध्ये प्रो. जे.जे. थॉमसन यांनी ऋणकणांचा शोध लावल्यानंतर, त्या शोधातूनच अणूंच्या जटिल रचनेविषयीची आधुनिक उपपत्तीत मांडण्यात आली. वस्तुमात्रातून कॅथोड किरण आरपार पाठविण्याविषयीच्या लेनार्डच्या प्रयोगा–वरून असे वाटत होते की अणूचा बराचसा भाग मोकळ्या जागेनेच व्यापला आहे. सध्या मान्य झालेली अणूची रचना पाहिल्यास लेनार्डचा निष्कर्ष बरोबर अस–

त्याचे दिसून येते. अणू कसा असावा याविषयी १९०४ मध्ये प्रो. जे. जे. थॉम-सनने अेक अगदी प्राथमिक स्वरुपाची कल्पना मांडली. अणूमध्ये धनविद्युत-भारवाही कण असून, अणूमधील ऋणकण सतत गोल चक्राकार फिरत असतात. धनविद्युतभारवाही कण व ऋणकण परस्परावरील विद्युतभाराचे उदासिनीकरण करीत असल्याने अणूवर कोणताच धन किंवा ऋण विद्युतभार नसतो. अणूचे इतके साधे चित्र थॉमसनने त्या अुपपत्तीत मांडले. अणुरचनेविषयीच्या थॉमसनच्या उपपत्तीत रदरफोर्डने १९११ मध्ये थोडी सुधारणा केली. अणूच्या केंद्रस्थानी धन-विद्युतभार असतो व अणूतील ऋणकण त्या केन्द्रस्थानाभोंवती सतत फिरत असतात, असे रदरफोर्डचे म्हणणे होते. कॅव्हेन्डिश प्रयोगशाळेत सी. टी. आर. विल्सन या थॉमसनशिष्याने केलेल्या प्रयोगाच्या आधारे रदरफोर्डने प्रो. जे. जे. थॉमसनच्या उपपत्तीत सुधारणा केली होती. जलबाष्पाच्या मेघामधून विद्युत-भारवाही कण गेल्यास, त्या कणांच्या मार्गाचा फोटो काढण्याचे तंत्र, सी.टी. आर. वल्सनने बसवले होते. किरणोत्सर्गी मूलतत्वातून बाहेर पडणारे धनविद्युतभार-वाही अल्फा कण धातूच्या पातळ पटलातून जाऊ दिल्यास, ते थेट सरळ रेषेत न जाता, काही तरी धनविद्युतभार, ते धातूपटलातून जात असता त्याना दूर लोटत असावा अशा प्रकारे ते परस्परापासून दूर जात असतात असे विल्सनला आढळले. त्यावरून रदरफोर्डने असा कयास बांधला की धनविद्युतभारवाही अल्फा कणाना दूर लोटणारा धनविद्युतभार अणूच्या केंद्रस्थानी असतो. केंद्रस्थानी अस-णाऱ्या धनविद्युतभाराचे उदासीनीकरण करु शकतील इतके ऋणकण त्या केंद्रस्थाना-भोवती सतत फिरत असतात. मूलतत्त्वाचा अणुक्रमांक जसा वाढत जातो तसा अणुच्या केंद्रस्थानी असणारा धनविद्युतभार वाढत जातो. प्रोटॉनचा किंवा धन-कणाचा भार ऋणकणभाराच्या जवळ जवळ १९०० ते २००० पट असल्याने, अणुचा भार साधारणपणे केंद्रस्थानी असणाऱ्या धनकणांच्या भाराइतका असतो रदरफोर्डने ही उपपती मांडली त्यावेळी न्यूट्रॉनचा किंवा शून्यकणाचा शोध लागला नव्हता. त्यामुळे शून्यकणाचा उल्लेख त्या उपपतीत नाही. परंतु याच उपपत्तीच्या आधारे, कोणताही विद्युतभार धारण न करणारे व धनकणाच्या भाराइतके भार असणारे कण अणुकेंद्रात असावे असे मत रदरफोर्डने यानंतर मांडले. चॅडविकने शून्यकणांचा शोध लावल्यानंतर, अणुरचनेत शून्यकणांचा उल्लेख होऊ लागला. १९११ मध्ये रदरफोर्डने मांडलेल्या अणुरचनेविषयीच्या या उपपत्तीत सुधारणा करण्याचे कार्य बोरने १९१३ मध्ये केले. त्यावेळी तो रदरफोर्डच्या प्रयोगशाळेत त्याच्याच मार्गदर्शनाप्रमाणे अणुरचनेविषयी संशोधन करीत होता.

अभिजात विद्युतचुंबकीय उपपत्तीप्रमाणे अणुकेंद्राभोवती प्रदक्षिणा करणाऱ्या ऋणकणामुळे विकिरण उपपत्ती सतत होत राहिली पाहिजे. ऋणकणाच्या अणु-केंद्राभोवती प्रदक्षिणा चालू असता, त्याची ऊर्जा कमी कमी होत जाईल व त्यामुळे त्याच्या प्रदक्षिणेच्या मार्गाचे आकुंचन होत होत ऋणकण अणुकेंद्राच्या जवळजवळ येऊ लागेल व सरतेशेवटी तो अणुकेंद्रात प्रवेश करील. अणूच्या या चित्राचा अर्थ असा होतो की दीप्तीमान किंवा प्रकाशमय झालेला वायू दीप्तीमान अवस्थेत फार वेळ राहू दिल्यास, त्यातून सर्व प्रकारच्या तरंगलांबीचा प्रकाश मिळावा व त्याचा वर्णपट अखंडित स्वरुपाचा मिळावा. परंतु हायड्रोजनसहित कोणत्याही वायूचा वर्णपट पाहिल्यास तो खंडित स्वरूपाचा असतो असे दिसून येते. - म्हणजे त्यात खूपशा स्वतंत्र रेषा असतात. हायड्रोजन वायूचा वर्णपट सर्वात साधा असावा अशी अपेक्षा होती. पण त्याचाही वर्णपट साधा असत नाही. खूपच जटिल असतो. त्याचा अर्थ काही ठराविकच वारंवारतेच्या प्रकाशाचे उत्सर्जन करण्याची शक्ती अणूमध्ये असते. अणूच्या वर्णपटात काही ठराविकच स्वतंत्र रेषा का याचे कारण बोरने जरा वेगळ्या प्रकारे दिले आहे. अणुकेंद्राभोवती ऋणकणांच्या प्रद-क्षिणेमुळे प्रकाशाचे अुत्सर्जन होत नाही. तर प्रदक्षिणेच्या अेका कक्षेतून दुसऱ्या कक्षेत ऋणकणाने उडी घातल्याने प्रकाशउत्पत्ती होते ही कल्पना बोरने प्रथमतः ग्राह्य मानली व त्या कल्पनेच्या आधारावर पुढील उपपत्ती मांडली. कल्पना करता येतील इतक्या कक्षा अणुकेंद्राभोवती असणे शक्य असले तरी काही ठरा-विक कक्षातच ऋणकणांच्या प्रदक्षिणा चालू असतात. जास्त ऊर्जेशी संबंधित असलेल्या कक्षेतून, कमी ऊर्जेशी संबंधित असलेल्या कक्षेत उडी घेणे ऋणकणाला शक्य असते. या शक्यतेनुरूप त्याने उडी घेतल्यास, त्या दोन कक्षांच्या ऊर्जातील फरक, उत्सर्जित झालेल्या प्रकाशाची वारंवारता x प्लँकचा h हा स्थिरांक यांच्या गुणाकाराइतका असतो. जोपर्यन्त ऋणकण अेका विशिष्ट कक्षेतच फिरत राहतो तोपर्यन्त विकिरण उत्पत्ती किंवा प्रकाश निष्पत्ती होत नाही. ऋणकण काही ठराविकच स्थिर कक्षातून फिरू शकतात असे बोरचे म्हणजे आहे. बोरने मान्य केलेल्या या 'स्थिर कक्षा' ही कल्पना अभिजात विद्युतचुंबकीय उपपत्तीहून अगदी भिन्न आहे. अभिजात विद्युतचुंबकीय उपपत्तीप्रमाणे उत्सर्जित प्रकाशाची वारंवारता ही ऋणकणांच्या प्रदक्षिणा आवर्तनांच्या वारंवारतेइतकी असायला पाहिजे. ठराविक स्थिर कक्षेत ऋणकण फिरत राहिल्यास विकिरण उत्पत्ती होत नाही व अेका स्थिर कक्षेतून दुसऱ्या स्थिरकक्षेत ऋणकणाने उडी घेतल्यास ठरा-विक मापाच्या किंवा क्वांटमच्या प्रमाणात प्रकाश उत्सर्जन होते या दोन कल्पना सोडून दिल्यास, बोरने आपली उपपत्ती अभिजात विद्युतगतीशास्त्र व यंत्रशास्त्र (Mechanics) या दोन शास्त्रांच्या आधारेच मांडली आहे.

ही उपपत्ती मांडत असता, वर्णपटातील रेषासंबंधीचे दोन महत्वाचे निष्कर्ष बोरच्या हाताशी होते. १८८५ मध्ये जे. जे. बामर या शास्त्रज्ञाने असे शोधून काढले होते की हायड्रोजनच्या वर्णपटातल्या दृश्य भागातील रेषांची तरंगलांबी एका समीकरणाने सांगता येते.

$$\lambda = \text{स्थिरांक} \times \frac{m^2}{m^2 - 4}$$

असे बामरचे ते समीकरण आहे. यात λ = तरंगलांबी व m = दोनाहून अधिक असा कोणताही पूर्णांक असा अर्थ आहे.

यानंतर १८९० मध्ये जे. आर. राईडबर्ग या शास्त्रज्ञाने प्रकाशाच्या तरंग-लांबीविषयीचे समीकरण जरा वेगळ्या प्रकारे मांडले.

$$n = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2}\right)$$

हे राइडबर्ग समीकरण आहे. यात n म्हणजे प्रकाशाच्या तरंगलांबीची वारं-वारता नसून १/ तरंगलांबी चे मूल्य आहे. एक भागिले तरंगलांबीच्या मूल्याला wave number किंवा तरंग अंक म्हणतात. तरंग अंक म्हणजे एक सेंटीमीटर मधील तरंगलांबीची संख्या. राइडबर्गच्या समीकरणात तरंग अंकाचे मूल्य १०९६७८ असते. या समीकरणातील m हा दोनाहून अधिक असा कोणताही पूर्णांक आहे. तरंग अंक × प्रकाशाचा वेग (३ × १०^{10} सेंटीमीटर दर सेंकदास) यांच्या गुणाकाराइतकी प्रकाशाची वारंवारंता असते. इतर निरनिराळ्या अणूंच्या वर्णपटातील रेषांचा तरंग अंक, राइडबर्गच्या समीकरणासारखीच समीकरणे मांडून व R या राइडबर्ग स्थिरांकाचे मूल्य पहिल्या इतकेच ठेवून काढता येतो फक्त m चे मूल्य पूर्णांकात न मांडता, सोईस्कर अशा अपूर्णांकांत मांडावे लागते.

बोरने वापरलेला वर्णपटाविषयीचा दुसरा निष्कर्ष रिट्झचे संयोग तत्व या नावाने ओळखला जातो. रिटझने हा निष्कर्ष १९०८ मध्ये प्रसिद्ध केला असून, तो सर्व वर्णपटाना लागू आहे, असे नंतर समजून आले. या ठिकाणी फक्त हायड्रोजन-च्या वर्णपटाचाच आपण विचार करु. रिट्झच्या या संयोगतत्वाप्रमाणे वर्णपटातील कोणत्याही रेषेचा तरंगांक दोन संख्यातील फरकाइतका असतो, या दोन संख्या

वेगवेगळ्या असून, त्या समीकरणात एकत्र आणलेल्या असतात. हायड्रोजनच्या दृष्य वर्णपटाच्या पहिल्या दोन रेषांच्या बाबतीत दोन समीकरणे मांडता येतात.

$$n_1 = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right) \text{ व } n_2 = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2}\right)$$

यात n_1 व n_2 हायड्रोजनच्या दृष्य वर्णपटातील पहिल्या दोन रेषांचे तरं-गांक आहेत व R हा राईडबर्गचा स्थिरांक आहे. रिट्झच्या संयोगतत्त्वाप्रमाणे n_1 व n_2 या दोन तरंगअंकांच्या फरकाअेवढा तरंगअंक असणारी तिसरी अेक रेषा हायड्रोजनच्या वर्णपटात असणे शक्य आहे. या तिसऱ्या रेषेचा तरंग अंक

$$n_2 - n_1 = R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2}\right)$$

इतका असायला पाहिजे. एफ्. पाश्चेन या शॉस्त्रज्ञाने हायड्रोजनचा रक्तातीत वर्णपट अभ्यासला, त्यावेळी त्या वर्णपटातील पहिल्या रेषेचा तरंग अंक

$$n_2 - n_1 = R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2}\right)$$

इतका असल्याचे समजून आले.

हायड्रोजनच्या वर्णपटाच्या बाबतीत रिट्झचे संयोग तत्त्व कसे लावायचे हे बोर उपपत्तीच्या सहाय्याने समाधानकारकरीत्या सांगता येते. तसेच हायड्रो-जनच्या वर्णपटातील बामर मालिका या नावाने ओळखल्या जाणाऱ्या दृष्य रेषा समुच्चयाला ते तत्त्व लावता येते. बोरच्या उपपत्तीच्या साह्याने मांडलेली समी-करणे वापरुन, राइडबर्गच्या स्थिरांकांचे मूल्य भौतिकीशास्त्रातील इतर स्थिर मूल्यात अचूक काढता येते हा बोर उपपत्तीचा मोठाच विजय मानला गेला.

बोरच्या उपपत्तीची ही पार्श्वभूमी दिल्यानंतर आता बोरच्या नोबेल व्याख्यानाकडे वळायला हरकत नाही. हे व्याख्यान त्याने डॅनिश भाषेत दिले असून त्यातील काही भागाचा स्वैर अनुवाद पुढे दिला आहे.

"१९११ मध्ये प्रो. रदरफोर्डने एक महत्वाचा शोध लावला. अणूच्या

महत्वाच्या गुणधर्मांचे स्पष्टीकरण तोपर्यंत चालत आलेल्या परंपरागत माहितीच्या आधारे करता येत नाही हे स्पष्ट झाले. त्यामुळे अणूच्या रचनेचे स्थैर्य व अणू उत्सर्जन करीत असलेल्या वर्णपटांचे वैशिष्टय ज्यांच्या योगे स्पष्ट करता येईल अशा तऱ्हेने क्वांटम किंवा ठराविक प्रमाण उपपत्तीची तत्त्वे मांडण्याची आवश्यकता निर्माण झाली. या तत्त्वांची मांडणी करण्याच्या उद्देशाने मी १९१३ मध्ये दोन आधारतत्त्वे मांडली.

१) आण्विक प्रणालीमध्ये कल्पना करण्यासारख्या गतीमध्ये काही स्थिती स्थिर आहेत – म्हणजे अणूमध्ये त्या गती कार्य करीत असता अणुपरिस्थिती संपूर्णपणे स्थिर असते. अभिजात मेकॅनिक्सच्या किंवा यंत्रशास्त्राच्या नियमांचे अणूतील सूक्ष्म कणानी सुद्धा पालन केले पाहिजे. यासाठी त्या कणास गती असली पाहिजे असे मानले जात होते. अणूतील कणाना गती असली पाहिजे ही कल्पना जरी मान्य झाली तरी अणूच्या स्थैर्याचे यंत्रशास्त्राच्या कोणत्याही नियमाच्या आधारे स्पष्टीकरण देता येत नव्हते. स्पष्टीकरण देता न येणाऱ्या अणूच्या या स्थैर्यामुळे, अेका स्थिर परिस्थितीतून दुसऱ्या स्थिर परिस्थितीत अणूमध्ये बदल झाल्यास, तो बदल अणूतील कणांच्या गतीत किंवा चलनात फरक झाल्याने होत असतो असे म्हणावे लागते.

२) अणू स्थिर परिस्थितीत असल्यास, अणूमधून विकिरणांचे उत्सर्जन होत नाही ही कल्पना अभिजात विद्युतचुंबकीय उपपत्तीच्या मान्य तत्त्वाविरुद्ध असली तरी एका स्थिर परिस्थितीतून, दुसऱ्या स्थिर परिस्थितीत होणाऱ्या बदलामुळे विद्युतचुंबकीय विकिरणांचे उत्सर्जन होते असे मानता येते. विद्युतभारवाही कणास कायम वारंवारतेची हार्मोनिक गती असल्यास, ज्या प्रकारचे विद्युतचुंबकीय विकिरण मिळतात, त्याच प्रकारचे विकिरण अणू एका स्थिर परिस्थितीतून दुसऱ्या स्थिर परिस्थितीत गेल्यावर मिळतात. अणूमधील कणांच्या गतीशी, अणूतून उत्सर्जित होणाऱ्या प्रकाशाचाय वारंवारतेचा संबंध साधा व सरळ नाही. तरीसुद्धा कणांची ऊर्जा व अणूतून उत्सर्जित होणाऱ्या प्रकाशाची v ही वारंवारता

$hv = E^{I} - E^{II}$ या समीकरणाने दाखवता येते.

या समीकरणात h हा प्लँकचा स्थिरांक आहे. E^{I} व E^{II} या अनुक्रमे पहिल्या किंवा सुरवातीच्या परिस्थितीतील कणांची ऊर्जा व अंतीम किंवा शेवटच्या परिस्थितील कणांची ऊर्जा आहेत. यात E^{I} ऊर्जा असलेल्या कणाने एका

कक्षेतून दुसऱ्या कक्षेत उडी घेतल्यावर त्याची ऊर्जा E ″ आहे असे धरले आहे. त्याउलट v वारंवारता असलेल्या विद्युतचुंबकीय लहरी प्रकाशरूपाने अणूने शोषल्यास, त्याच्या अंतिम परिस्थितीत असलेल्या E ″ ऊर्जेत वाढ होऊन ती सुर- वातीच्या परिस्थितीत असलेल्या E ′ ऊर्जेइतकी होईल.

यातील पहिले आधारतत्त्व अणूच्या सर्वसाधारणतः दिसून येणाऱ्या स्थैर्याचे स्पष्टीकरण देते. अणूचे सर्वसाधारणतः दिसून येणारे स्थैर्य म्हणजे त्याचे रासाय- निक व कायिक गुणधर्म होत. दुसऱ्या आधारतत्त्वाने अणूच्या वर्णपटात खूपशा पण स्वतंत्र रेषा का याचे स्पष्टीकरण मिळते. या दुसऱ्या आधारतत्त्वात क्वांटम किंवा ठराविक प्रमाण उपपत्तीचा वापर केल्याने अणूच्या वर्णपटाच्या रेषांच्या- बाबतीत आढळून येणाऱ्या नियमांचे स्पष्टीकरण देता येते. म्हणजे ते विशिष्ट नियम अणूच्या वर्णपटातील रेषांच्या बाबतीत का पाळले जातात हे सांगता येते. अणूच्या वर्णपटातील रेषांच्या बाबतीत लावता येणारा सर्व साधारण नियम म्हणजे रिट्झचे संयोग तत्त्व. आणूच्या वर्णपटातील रेषांची v ही वारंवारता रिट्झच्या संयोग तत्त्वाप्रमाणे

$$v = T'' - T'$$

या समीकरणात T ″ व T ″ या अणूच्या वैशिष्टदर्शक वर्णपटसंख्या होत. ज्या अणूचा वर्णपट अभ्यासावा त्या अणूप्रमाण T ′ व T ′ यांचे मूल्य बदलते.

मी मान्य केलेल्या आधारतत्त्वाप्रमाणे रिट्झच्या या संयोग तत्त्वाचे स्पष्टी- करण पुढे दिल्याप्रमाणे करता येते. अणूच्या स्थिर परिस्थितीत बदल झाल्यास म्हणजे अणूच्या एका स्थिर कक्षेतून दुसऱ्या स्थिर कक्षेत ऋणकणाने उडी घेतल्यास अणूकडून विकिरण उत्पत्ती होते असे धरल्यास, सुरवातीच्या व शेवटच्या परिस्थि- तीतील ऋणकण ऊर्जा वरच्या समीकरणातील T ′ व T ″ या वर्णपट संख्याना h या प्लँकच्या स्थिरांकाने गुणल्यावर मिळणाऱ्या गुणाकाराइतकी असते. रिट्झच्या संयोगतत्त्वाचा आपण हा जो अर्थ लावला आहे तो नेहमीच्या विद्युतगतिकशास्त्राच्या आधारे लावण्यात येणाऱ्या अर्थाहून दोन बाबतीत थोडा भिन्न आहे.

अणुमधून उत्सर्जित होणारा प्रकाश व अणुतील कणांची गती यामध्ये सरळ व साधा संबंध नाही हे आपण गृहित धरतोच. शिवाय अणूच्या वर्णपटातील रेषांच्या उत्पत्तीचा संबंध भिन्न भिन्न वर्णपटसंख्याशी जोडण्यात वर्णपटरेषा निष्पत्ती कशी

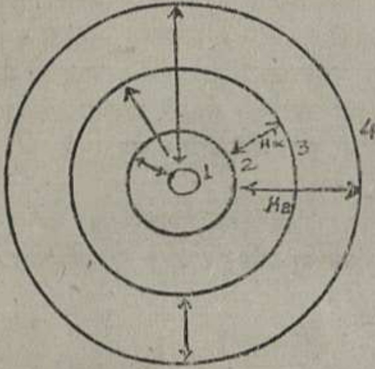
होते याबद्दल आपण आणखी काही सांगून जातो. अणूमधून उत्सर्जित होणाऱ्या विकिरणांचे वैशिष्ठ्य अणूच्या सुरवातीच्या स्थिर परिस्थितीवरच अवलंबून नाही. तर स्थिर परिस्थितीत बदल झाल्यानंतर कोणती अंतिम स्थिर परिस्थिती त्यास प्राप्त होते यावरही अवलंबून आहे असे आपले स्पष्टीकरण आहे. म्हणजे अणूची सुरवातीची स्थिर परिस्थिती व अंतिम स्थिर परिस्थिती या दोन्ही स्थिर परिस्थित्या वर्णपट रेषा मिळविण्याच्या दृष्टीने महत्त्वाच्या आहेत. प्रथम दर्शनी असे वाटते की अणूमधील कणाविषयी आपल्याला असलेली माहिती व रिट्झच्या संयोगतत्त्वाचे हे स्पष्टीकरण यांचा मेळ बसत नाही. पण या बाबतीत जरा जास्त विचार केल्यावर, मी घेतलेल्या आधारतत्त्वांच्या आधारे अणूच्या वर्णपटातील रेषा आणि अणुरचना यांचा फार जवळचा संबंध आहे असे दाखवता येते.

आपल्याला माहीत असलेल्या सर्व वर्णपटात हायड्रोजनचा वर्णपट त्यातल्या त्यात बराचसा साधा आहे. हायड्रोजनच्या वर्णपटातील v ही वारंवारता बामरच्या समीकरणाने काढता येते.

$$v = K\left[\frac{1}{(n'')^2} - \frac{1}{(n')^2}\right]$$

बामरच्या या समीकरणात K हा स्थिरांक असून, n' व n" हे दोन पूर्णांक आहेत. त्यामुळे आपल्याला हायड्रोजनच्या वर्णपटात K/n^2 या रूपाने दाखवता येणाऱ्या रेषांची अेक मालिकाच मिळते. n चे मूल्य जसे वाढत जाते तसे K/n^2 चे मूल्य कमी होत जाते. ही गोष्ट आपण अेकदा मान्य केली की आपल्याला असे म्हणता येते की हायड्रोजनच्या वर्णपटातील प्रत्येक रेषा हायड्रोजनच्या वर्णपटातील प्रत्येक रेषा, हायड्रोजनच्या विविध स्थिर परिस्थितीपैकी दोन स्थिर परिस्थितीतील फरकाने मिळाली आहे, व त्यातील प्रत्येक स्थिर परिस्थितीत अणूची ऊर्जा hK/n^2 इतकी असते. परिस्थितीप्रमाणे n चे मूल्य बदलत असते. अणुरचनेचे जे सद्यचित्र आपल्याला माहीत आहे, त्याप्रमाणे हायड्रोजन अणूमध्ये धन-विद्युतभारवाही अणुकेन्द्र आहे व त्याभोवती अेक ऋणकण प्रदक्षिणा घालीत आहे. नेहमीच्या यांत्रिकी पद्धतीने विचार केल्यास, ऋणकण प्रदक्षिणेचा मार्ग Elliptical किंवा लंबवर्तुळाकार असायला पाहिजे. अशा लंबवर्तुळाला असलेल्या दोन केन्द्रापैकी अेका केन्द्रस्थानी अणुकेन्द्र असणार. हायड्रोजन अणूतील ऋणकण त्यातील पूर्णपणे काढून टाकण्यासाठी करावे लागणारे कार्य, प्रदक्षिणेच्या लंबवर्तुळाकार मार्गाच्या मुख्य अक्षाच्या लांबीच्या व्यस्त प्रमाणात असते. हे आप-

ल्याला थोडीशी आकडेमोड केल्यास समजून येईल. अणूच्या स्थिर परिस्थितीत हे कार्य hk/n^2 अेवढे असते असे आपण समजू या. यानंतर अणूच्या अनेक स्थिर परिस्थितींचा विचार करायला हरकत नाही. या प्रत्येक स्थिर परिस्थितीत प्रदक्षिणेच्या लंबवर्तुळाकार मार्गांचे मुख्य अक्ष पूर्णांकांच्या वर्गाच्या प्रमाणात असणार.



आकृती - 17
[बोरचे हायड्रोजन अणुचे प्रतिमान : ऋण कणांच्या भ्रमण कक्षा व त्यांचे संक्रमण] तसेच आकृती - 26 ही पहावी.

सोबतच्या आकृतीत, हायड्रोजन अणूतील अणुकेंद्र व त्याभोवती प्रदक्षिणा करणाऱ्या ऋणकणांच्या प्रदक्षिणा कक्षा दाखवल्या आहेत. आकृती समजायला जास्त सोपी व्हावी यासाठी अणूच्या स्थिर परिस्थितीत ऋणकणाचे प्रदक्षिणामार्ग वर्तुळाकार दाखवले आहेत. प्रदक्षिणामार्ग वर्तुळाकार दाखवल्याने, ऋणकणाच्या गतीत फारसा फरक नाही. आकृतीत दाखवलेल्या प्रदक्षिणा मार्गांनी प्रदक्षिणामार्गांच्या मुख्य अक्षाची लांबी कशी वाढत जाते अेवढेच दाखवले आहे. प्रत्यक्षात हे प्रदक्षिणामार्ग लंबवर्तुळाकार आहेत अेवढे लक्षात ठेवायला पाहिजे. हायड्रोजनच्या वर्णपटातील लाल व हिरव्या रेषा स्थिर परिस्थितीतील कोणत्या फरकाने मिळतात हे आकृतीत दाखवले आहे. बामरच्या समीकरणात $n^{11} = २$ व $n^{I} = ३$ आणि ४ असे धरल्यास, या रेषांची वारंवारता काढता येते. याच आकृतीत लाय-

मनने १९१४ साली शोधून काढलेल्या हायड्रोजनच्या निलातीत वर्णपटातील पहिल्या तीन रेषा कशा मिळतात हे दाखवले आहे. हायड्रोजनच्या नीलातीत वर्णपटातील या तीन रेषांची वारंवारता, बामरच्या [समीकरणात $n^{11} = १$ व $n^{1} =$ २, ३ आणि ४ असे धरल्यास काढता येते. म्हणजे दुसऱ्या स्थिर कक्षेतून पहिल्या स्थिर कक्षेत ऋणकणाने उडी घेतल्यास वर्णपटातील लायमन मालिकेतील पहिली रेषा मिळते. तिसऱ्या कक्षेतून, ऋणकणाने पहिल्यात उडी घेतल्यास दुसरी रेषा व चवथ्या कक्षेतून पहिलीत उडी घेतल्यास तिसरी रेषा मिळते. हाच क्रम पुढे राहून लायमनमालिकेतील चवथी, पाचवी, सहावी इत्यादी रेषा मिळतात. त्यानंतर पाश्चेनने काही वर्षापूर्वी हायड्रोजनच्या रक्तपूर्व वर्णपटाचा शोध लावला. त्या वर्णपटातील रेषांची वारंवारता काढायची असल्यास बामरच्या समीकरणात $n'' =$ ३ व $n' =$ ४, ५, ६ इत्यादी असे धरावे लागते. म्हणजे चवथ्या, पाचव्या, सहाव्या इत्यादी स्थिर कक्षातून तिसऱ्या स्थिर कक्षेत ऋणकणाने उडी घेतल्यास वर्णपटातील पाश्चेन मालिकेतील रेषा मिळतात.

हायड्रोजनच्या वर्णपटातील निरनिराळ्या रेषा कशा मिळतात याच्या या स्पष्टीकरणातून आणखी काही निष्कर्ष काढता येतात. अणुकेन्द्राचा ऋणकणाशी कशा–प्रकारचा संबंध आहे, त्या संबंधाचा अेक पुरावा म्हणून अणूच्या वर्णपटाकडे पाहाता येते. वर्णपटातील सर्वात मोठी संख्या $n'' =$ १ वापरल्यावर मिळते. म्हणजे अणु–केंद्राच्या ऋणकणाबरोबर असणाऱ्या संबंधाची ही शेवटची पायरी आहे. वर्णपटा–तील लहान संख्या $n'' =$ अेकाहून अधिक असल्यावर मिळतात. म्हणजे ऋणकणाचा अणुकेंद्राशी संबंध असणाऱ्या प्रक्रियेच्या प्राथमिक पायऱ्या यावेळी आपल्याला मिळतात. ज्यावेळी $n'' =$ अेकाहून जास्त असतो त्यावेळी n'' च्या वाढत्या मूल्याप्रमाणे ऋणकणाच्या प्रदक्षिणामार्गाच्या कक्षा वाढत असतात. ऋण-कण या कक्षात असल्यास, तो अणुकेन्द्रापासून संपूर्णपणे अलग करण्यासाठी कमी कार्य करावे लागते. त्यामानाने ऋणकण पहिल्या कक्षेत असल्यास, त्याला अणु–केन्द्रापासून संपूर्णपणे अलग करण्यासाठी जास्त कार्य करावे लागते. ऋणकणाचा अणुकेन्द्राशी संबंध असण्याची शेवटची पायरी ही अणूची सर्वसाधारण परिस्थिती असे म्हणायला हरकत नाही. या सर्वसाधारण परिस्थितीत व इतर स्थिर परि-स्थितीत फरक हा की ऋणकणाला ऊर्जेचा पुरवठा केल्यास, आतल्या कक्षेतील ऋणकण जास्त मोठा प्रदक्षिणामार्ग असलेल्या बाहेरच्या कक्षेत जातो व अणूच्या स्थितीत फरक पडतो.

अणू सर्वसाधारण परिस्थितीत असल्यावर अणुकेन्द्राभोवती फिरणाऱ्या ऋणकणाचा प्रदक्षिणामार्ग किती असावा याचे गणित मांडता येते. वायूंच्या चल–उपपत्तीच्या आधारे मूलतत्त्वांच्या अणूंचे आकार ठरविल्यावर, त्यांच्या आकाराशी संबंधित प्रदक्षिणामार्ग व ऋणकण कक्षावरून गणिताने ठरविलेले प्रदक्षिणामार्ग अेकामेकासमान असतात असे आढळते."

संशोधनाचे परिणाम

अणुरचनेविषयीच्या अुपपत्तीच्या अगदी प्राथमिक अवस्थेत ऋणकणकक्षा वर्तुळाकार आहेत असे बोरने गृहीत धरले होते. त्या प्राथमिक अवस्थेत सुद्धा वर्णपटातील रेषांची जटिल रचना अुकलून दाखविण्याचे कार्य बोरच्या उपपत्तीने केले. १९१५ मध्ये म्युनिचमधील प्रो. अर्नोल्ड सॉमर फेल्ड या जर्मन शास्त्रज्ञाने ऋणकणकक्षा वर्तुळाकार नसून elliptical किंवा लंबवर्तुळाकार आहेत अशी बोरच्या अुपपत्तीत सुधारणा केली. ही सुधारणा केल्याने, अुत्तम प्रकारचे उपकरण साहित्य वापरल्यावर वर्णपटात आढळून येणाऱ्या सूक्ष्म रेषांचेही स्पष्टीकरण देता येऊ लागले. त्यानंतर अणुकेंद्राला व ऋणकणालाही स्वताभोवती फिरकी घेण्याचा गुणधर्म असतो हा विचार आला. तो विचार मान्य झाल्यावर, वर्णपटातील सर्व रेषांचे स्पष्टीकरण देता येऊ लागले. तसेच आवर्तनसारणीच्या निरनिराळ्या मालिकात काही ठराविक मूलतत्त्वसंख्या का हेही सांगता येऊ लागले.

वर्णपटांच्या अभ्यासातून बोरच्या उपपत्तीत काही बारीकसारीक सुधारणा कराव्या लागल्या. तेवढ्या सोडल्यास अणुरचनेविषयीची बोर–सॉमर फेल्ड उप–पत्ती सर्वसाधारणतः मान्य झाली आहे.

१९१३ पासून पुढची दहाबारा वर्षे बोर-सॉमरफेल्ड उपपत्तीच अणुरच–नेच्या बाबतीत शेवटला शब्द मानली जात होती. या उपपत्तीच्या आधारेच अणुविज्ञानशास्त्रात नवीन शोध लागले. वर्णपटांच्या अभ्यासातून माहीत झालेल्या कित्येक गोष्टींचे स्पष्टीकरण या उपपत्तीच्या सहाय्याने देता येत होते. तरी या उपपत्तीतील मूलभूत आधारतत्त्वे भौतिकीशास्त्रज्ञांना तितकीशी पटत नव्हती. ह्या आधारतत्त्वांच्या रूपाने आपण निसर्गावर काही तरी बंधने लादू पाहातो असे

त्याना वाटत राहिले. या जाणिवेतूनच बोर–सॉमरफेल्ड उपपत्तीहून जास्त साधी व जास्त मूलभूत स्वरूपाची उपपत्ती निघाली. ही नवीन उपपत्ती डीब्रोली या फ्रेंच शास्त्रज्ञाच्या wave machanics शास्त्राच्या आधारे मांडण्यात आली असून, डीब्रोलीच्या चरित्रात त्या शास्त्राचा उहापोह केला आहे.

१९२३

रॉबर्ट अँड्रूज मिलीकन

(१८६८ - १९५३)

" ऋणकणावरचा विद्युतभार आणि प्रकाशीय विद्युत परिणाम या विषयीच्या संशोधनाबद्दल नोबेल पारितोषिक "

चरित्र

अमेरिकेच्या इलीनॉइस संस्थानातील मॉरीसन गावी, २२ मार्च १८६८ रोजी रॉबर्ट अँड्रूज मिलीकनचा जन्म झाला. आयोवा संस्थानातील मॅक्यु ओकेटा शाळेत त्याचे शालेय शिक्षण झाले. त्यानंतर ओहायओ संस्थानातील ओबरलीन कॉलिजमध्ये त्याचे विश्वविद्यालयीन शिक्षण झाले.पदवी परिक्षेसाठी त्याने भौतिकी-शास्त्राचा थोडाबहुत अभ्यास केला असला, तरी त्या विषयात त्याला सुरवातीस विशेष रस नव्हता. १८९१ मध्ये भौतिकीशास्त्र हा प्रमुख विषय घेऊन बी. अे. झाल्यानंतर त्याने १८९१ ते १८९३ ही दोन वर्षे ओबरलीन कॉलिजमध्ये भौतिकी-शास्त्राचा शिक्षक म्हणून काम केले. १८९३ मध्ये अे. अेम्. पदवी संपादन केल्या-नंतर त्यास कोलंबिया विद्यापीठात फेलो नेमण्यात आले. १८९५ मध्ये त्याने कोलंबिया विद्यापीठाची पीअेच्. डी. पदवी संपादन केली. त्यानंतरची दोन वर्षे त्याने जर्मनीतील गॉटिन्जेन व बर्लिन विद्यापीठात भौतिकीशास्त्राचा विशेष अभ्यास करण्यात खर्च केली. १८९६ च्या उत्तरार्धात अमेरिकेला परतल्यावर त्याला शिकागो विद्यापीठात भौतिकीशास्त्राचा दुय्यम प्राध्यापक म्हणून जागा मिळाली. या पुढची पंचवीस वर्षे त्याने शिकागो विद्यापीठातच काढली. १९१० मध्ये त्यास भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक करण्यात आले. १९२१ मध्ये त्याने पासाडेना येथील कॅलिफोर्निया इन्स्टिटयूट ऑफ टेक्नॉलॉजीच्या (तंत्रविज्ञानसंस्था) भौतिकी-शास्त्राविषयी विशेष संशोधन करण्यासाठी खास उघडलेल्या नॉर्मन ब्रिज प्रयोग-

शाळेचा संचालक म्हणून काम पाहाण्याचे मान्य केले. १९४५ साली कार्यनिवृत्त होईपर्यंत तो नॉर्मन ब्रिज प्रयोगशाळेचा संचालक होता.

१९१७ मध्ये त्यास अमेरिकेच्या नॅशनल रिसर्च कौन्सिलचा अध्यक्ष नेमण्यात आले. त्याचवेळी त्यास लेफ्टनंट कर्नल हा लष्करी हुद्दा देऊन, अमेरिकेच्या सिग्नल कोअरच्या विज्ञान व संशोधन विभागाचा प्रमुख नेमण्यात आले.

लंडनच्या रॉयल सोसायटीने त्यास ह्यूजेस पदक दिले आहे. अमेरिकेच्या नॅशनल ॲकेडमी ऑफ सायन्सेस या संस्थेने कोम्स्टॉक पारितोषिक आणि अमेरिकन इन्स्टिटयूट ऑफ अिलेक्ट्रिकल इंजिनियर्स या संस्थेने अेडीसन पदक देऊन त्यास गौरविले आहे. बऱ्याचशा अमेरिकन विद्यापीठानी व आयर्लंन्डच्या डब्लिन विद्यापीठाने त्यास माननीय डॉक्टरेट पदवी अर्पण करुन आपली गुणग्राहकता व्यक्त केली आहे. बऱ्याचशा विज्ञान संस्थाचाही तो माननीय सभासद होता. १९ डिसेंबर १९५३ रोजी, अमेरिकेच्या कॅलिफोर्निया राज्यातील स्टान मरिनो गावी त्याने इहलोकचा निरोप घेतला.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

ऋणकणावर नक्की विद्युतभार किती असतो ते ठरविण्याच्या कामास मिलीकननें १९०६ साली सुरवात केली. बहा वर्षे सतत संशोधन केल्यानंतर त्यास अंगीकृत कार्यात यश प्राप्त झाले. या त्याच्या संशोधनाबद्दल तो विशेष प्रसिद्ध आहे. १८९७ मध्ये सी. टी. आर्. विल्सनने ऋणकणांच्या मार्गाचे प्रकाशचित्रण करण्यासाठी क्लाउड चेंबर किंवा मेघ-पात्र हे नवीन प्रकारचे उपकरण तयार केले. या त्याच्या संशोधनाबद्दल सी. टी. आर्. विल्सननला १९२७ साली नोबेल पारितोषिक मिळाले. त्यामुळे क्लाउड चेंबरविषयीचा माहिती इतरत्र—म्हणजे सी. टी. आर्. विल्सनच्या चरित्राच्या अनुषंगाने दिली आहे. सी. टी. आर्. विल्सनचा क्लाउड चेंबर वापरून, केम्ब्रिज विद्यापीठाच्या कॅव्हेन्डिश प्रयोगशाळेचे संचालक सर जे. जे. थॉमसनने यानी ऋणकणावरचा विद्युतभार मोजला. सर जे. जे. थॉमसनने हे संशोधन कोणत्या प्रकारे पार पाडले ते सर जे. जे. थॉमसनच्या चरित्रात आले आहे. मेघपात्रात मुद्दाम निर्माण केलेल्या मेघामधील जलबिंदूंची संख्या ठरविण्यावर थॉमसनचे संशोधन आधारले आहे. मेघाची अतिसंपृक्तता ठरविल्यानंतर ती अतिसंपृक्तता होण्यासाठी मेघात किती पाणी असायला पाहिजे

व पाण्याच्या एका थेंबाचे घनफळ किती आहे यावरून मेघात किती जलबिंदू आहेत हे ठरविता येते. मेघातील सर्व जलबिंदू अेकाच आकारमानाचे असले पाहिजेत असे धरून व त्यांच्या बाबतीत स्टोक्सचा नियम लावून, त्याने प्रथमत: अेका जलबिंदूचे आकारमान ठरवले. अेखाद्या पदार्थाचा लहानसा गोल, विष्यंद्र द्रवातून खाली पडू दिला, तर खाली पडणाऱ्या गोलाची त्रिज्या व घनता, तो गोल ज्या द्रवात खाली पडतो त्या द्रवाची घनता व विष्यंदिता यावरून गोल खाली पडण्याचा वेग स्टोक्सच्या नियमाच्या आधारे काढता येतो. मेघपात्रातील मेघ गुरुत्वाकर्षणामुळे काय वेगाने खाली जातो ते ठरविल्यास, स्टोक्सच्या नियमाच्या आधारे, मेघातील जलबिंदूंची त्रिज्या ठरविता येते. मेघातील अेकंदर पाण्याचा भार व अेका जलबिंदूचा भार माहित झाल्यास, मेघातील जलबिंदूंची संख्या ठरविण्यास अडचण पडत नाही. मेघावर किती विद्युतभार आहे ते इलेक्ट्रोमीटरच्या (विद्युतमापीच्या) सहाय्याने मोजता येते. मग मेघावरील अेकंदर विद्युतभाराला, मेघातील जलबिंदूंच्या संख्येने भागल्यास, अेका जलबिंदूवरील विद्युतभार मिळतो.असे हे गणित मांडताना दोन गोष्टी गृहित धरल्या आहेत.प्रत्येक आयनावर अेक अेकक विद्युतभार आहे व अेका जलबिंदूपासून अेकच आयन तयार होतो– म्हणजे जितके जलबिंदू मेघात आहेत तितकेच आयन तयार होतील. मेघपात्रात मेघ तयार करण्याच्या प्रयोगावरून, अेका ऋणकणावरचा विद्युतभार ३.१ × १०⁻¹⁰ इलेक्ट्रोस्टॅटिक अेकक आहे, असे थॉमसनने ठरवले होते. ऋणकणावरचा विद्युतभार थॉमसनने ठरवलेल्या विद्युतभाराच्या जवळ जवळ दीडपट आहे असे मानतात. १९०३ मध्ये कॅव्हेन्डिश प्रयोगशाळेच्या अेच्. अे. विल्सनने थॉमसनच्या पद्धतीतील प्रायोगिक अनिश्चितता काढून टाकण्याच्या दृष्टीने थॉमसनच्या पद्धतीत काही सुधारणा केल्या. ज्या पात्रात त्याने धातूच्या दोन आडव्या पट्ट्या, त्यामधील अंतर अेक सेन्टीमीटर ठेवून अेकावर अेक बसवल्या व त्या दोन हजार व्होल्ट बॅटरीला जोडल्या. मेघाचे शीर्ष काय वेगाने खाली जाते तो वेग (अ) फक्त गुरुत्वाकर्षणाने तो मेघ खाली जात असताना व (ब) विद्युतक्षेत्र चालू असताना काढला. दोन भिन्न परिस्थितीत मेघ खाली जाण्याचा वेग व विद्युतक्षेत्राचे सामर्थ्य यावरुन ऋणकणावरील विद्युतभाराचे गणित त्याने मांडले. गुरुत्वाकर्षणाचे मूल्य, वायूच्या विष्यंदितेचा गुणकांक, जलबिंदूची घनता या गोष्टी त्याने प्रत्यक्ष प्रयोगावरुन ठरविल्या. मेघशीर्ष खाली जाण्याचा वेग मोजण्यात अेका जलबिंदूवर अेक आयन तयार होतो ही गृहित कल्पना विल्सनने टाळली. जलबिंदूवर जास्त विद्युतभार असल्यास, तो विरूद्ध विद्युतभार असलेल्या खालच्या धातुपट्टीकडे जाण्याचा

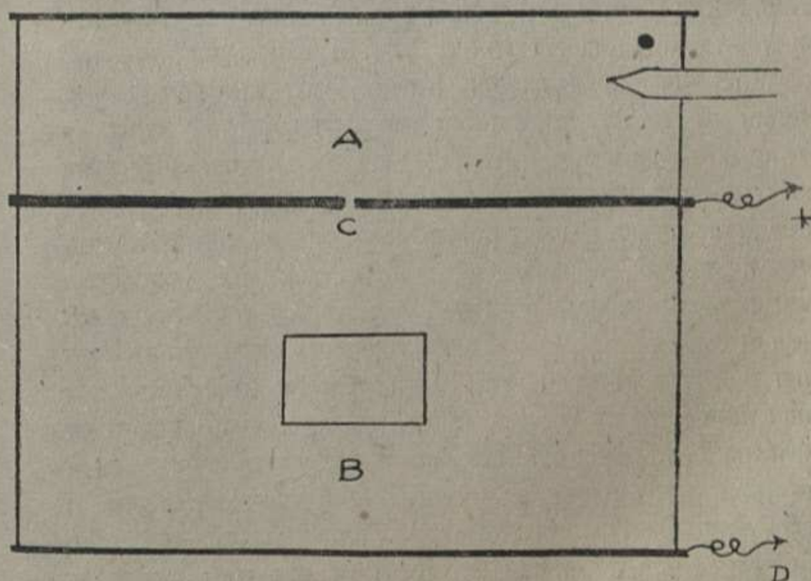
वेग अर्थातच वाढणार; व अशा प्रकारचे जास्त विद्युत्भार असणारे जलबिंदू मेघांच्या अंतर्भागात असण्याचा संभव जास्त आहे. त्या उलट मेघशीर्षामध्ये असणाऱ्या जलबिंदूवर कमीत कमी विद्युतभार असणार. दोन भिन्न परिस्थितीत मेघ खाली जाण्याचा वेग मोजताना, दोन्ही प्रसंगी मेघातील जलबिंदूंचा आकार अेकच आहे असे मात्र मानावे लागते: विल्सनने केलेल्या प्रयोगाप्रमाणे ऋणकणावरील विद्युतभार २x१० $^{-10}$ ते ४–४x१० $^{-10}$ इलेक्ट्रोस्टॅटिक युनिट येतो, व सरासरी विद्युतभार थॉमसनने ठरवलेल्या विद्युतभाराच्या आसपास येतो. थॉमसनच्या प्रयोगपेक्षा विल्सनच्या प्रयोगात ऋणकणावरील विद्युतभार मोजण्याच्या पद्धतीत निश्चित सुधारणा झाली. तरी या दोन्ही प्रयोगांची अचूकता अेका गोष्टीवर अवलंबून होती. पदार्थाचा गोल, विष्यंद द्रवात पडण्याच्या वेगाविषयीचा स्टोक्सचा नियम मेघातील जलबिंदूना लावता येईल हे दोन्ही पद्धतीत गृहित धरले होते. मेघामध्ये ज्या आकारमानाचे जलबिंदू असतात, त्या आकारमानाच्या सूक्ष्म गोलांच्या बाबतीत स्टोकसचा नियम लावता येतो की नाही हे कोणीही नक्की केले नव्हते. शिवाय थॉमसनच्या व विल्सनच्या पद्धतीत, अेकदा मेघ तयार झाल्यानंतर, त्यातील जलबिंदूच्या आकारमानात फरक होत नाही असे धरतात. प्रत्यक्षात मेघ तयार झाल्यानंतर, तपमान चढल्याने, जलबिंदूतील काही जलाचे बाष्प तयार होत असल्याने जलबिंदूचे आकारमान थोडे तरी कमी व्हायला पाहिजे.

१९०६ मध्ये मिलिकनने ऋणकणावरील विद्युतभार ठरविण्याच्या प्रश्नास हात घालण्याचे ठरविले. प्रथमत: त्याने विल्सनने ज्या प्रयोगानी ऋणकणावरचा विद्युतभार ठरविला, ते सर्व प्रयोग पुन्हा पुन्हा करुन पाहिले. प्रयोग पुन्हा पुन्हा केल्याने, प्रयोगाचा सराव होईल व ऋणकणावरच्या विद्युतभाराच्या मूल्यात सातत्य येईल व त्यावरुन ऋणकणावरचा विद्युतभार नक्की ठरवता येईल असे त्याला वाटले होते. पण या प्रयोगात अवश्य ती अचूकता नाही असे त्याला प्रथमत: आढळून आले. दोन वर्षे सतत प्रयोग करीत राहिल्यानंतर, त्यास १९०८ साली, त्या प्रयोगात बरीचशी अचूकता प्राप्त करुन घेता आली. तपमान चढल्यावर, जलबिंदूचे आकारमान कमी होण्याच्या संभव टाळण्यासाठी त्याने मेघ तयार झाल्याबरोबर, जलबिंदू खाली जाण्याचा वेग ठरविला व त्यावरुन ऋणकणावरचा विद्युतभार ३.६६ × १०$^{-10}$ ते ४.३७ × १०$^{-10}$ इलेक्ट्रोस्टॅटिक युनिट आहे असे ठरविले. म्हणजे ऋणकणावरचा सरासरी विद्युतभार ४.०६ × १०$^{-10}$ इ. स्टॅ. यु

आहे असे त्याने ठरवले. पण आपण अपेक्षिलेली अचूकता या प्रयोगात नाही असे वाटल्याने, त्याने प्रयोगाची अचूकता वाढविण्याचा प्रयत्न केला. मेघ तयार झाल्या-वर, शक्य तितक्या कमी वेळात मेघातील जलबिंदू खाली जाण्याचा वेग जरी मोजला तरी जलबिंदूच्या आकारमानात घट होण्याची शक्यता अजिबात टाळता येत नाही व आकारमानात किती घट होणार हेही नक्की सांगता येत नाही. म्हणून वद्युतक्षेत्राच्या तीव्रतेत फरक करून, मेघातील जलबिंदू खाली पडण्याच्या वेगात फरक करण्याअैवजी, तयार झालेल्या मेघाचे शीर्ष अेकाच जागी स्थिर राहील अशा तऱ्हेने त्याने विद्युतक्षेत्राची तीव्रता कमी जास्त केली. मेघ अेकाच जागी स्थिर राहिल्यास, त्यातील जलबिंदूचे बाष्पीभवन काय वेगाने होते ते ठरविता येईल व तेवढ्या प्रमाणात ऋणकणावरचा विद्युतभार ठरविण्यात झालेली चूक सुधारता येईल अशी त्याची कल्पना होती. त्याचा हा प्रयोगही वाटला तितका अचूक ठरला नाही. पण हा प्रयोग करीत असता, त्याला अेक महत्त्वाचा शोध लागला. तयार झालेला मेघ जवळ जवळ अेक मिनिटभर अेकाच जागी स्थिर ठेवता येतो असे त्याला आढळून आले. त्यामुळे जलबिंदूतील काही पाण्याचे बाष्प होण्याने, जलबिंदूच्या आकारमानावर काय परिणाम होतो, त्याचा त्याला अभ्यास करता आला. विद्युतक्षेत्राची तीव्रता बदलून व प्रत्येक वेळी समान अंतरावर ठेव--लेल्या पहिल्या व दुसऱ्या खुणेतील अंतरासाठी व दुसऱ्या आणि तिसऱ्या खुणे–मधील अंतरासाठी किती वेळ लागतो याचा त्याने अभ्यास केला. यासाठी जल–बिंदू पाहाता येईल असा दूरदर्शक त्याने मेघपात्राला लावून ठेवला. जलबिंदू पहिल्या खुणेपासून दुसऱ्या खुणेपर्यंत जाण्यासाठी लागणारा वेळ, तोच जलबिंदू दुसऱ्या खुणेपासून तिसऱ्या खुणेपर्यंत जाण्यासाठी लागणाऱ्या वेळाइतका असल्यास बाष्पीभवनामुळे जलबिंदूच्या आकारमानात होणारा परिणाम नगण्य आहे असे समजून येत होते. त्यानंतर विल्सनने ऋणकणावरच्या विद्युतभाराचे मापन करण्यासाठी जी पद्धत वापरली, तीच पद्धत वापरून मिलिकनने ऋणकणावरचा विद्युतभार ४.७×१०^{-10} इलेक्ट्रोस्टॅटिक युनिट आहे असे ठरविले.

हे प्रयोग करीत असता, अेका जलबिंदूवर अेकाहून अधिक अेकक विद्युत–भार असतो असे जवळजवळ प्रत्येक वेळी मिलिकनला आढळून आले. आयनीकरण घडवून आणण्यासाठी तो रेडीयममधून बाहेर पडणाऱ्या किरणांचा उपयोग करीत असे. रेडीयममधून मेघाकडे येणाऱ्या किरणाच्या मार्गात योग्य प्रकारचा अडथळा ठेवून, त्याना पूर्णपणे अडवले नाही तर, त्या किरणोत्सर्गातला अल्फा किंवा बीटा

कण मेघातील स्थिर ठेवलेला जलबिंदू स्वत:मध्ये सामावून घेतो व मिळालेल्या धन किंवा ऋण विद्युतभारामुळे तो जलबिंदू स्थिर न राहाता खाली किंवा वर जाऊ लागतो. हा प्रकार पाहिल्यानंतर, स्थिर जलबिंदूने अल्फा किंवा बीटा कण स्वतामध्ये सामावून घेण्याआधीचा त्याचा खालील विद्युतपट्टीकडे जाण्याचा वेग व अल्फा किंवा बीटा कण स्वतामध्ये सामावून घेण्यानंतरचा त्याचा खालील विद्युतपट्टीकडे जाण्याचा वेग यांचा अभ्यास केल्यास, जलबिंदूने सामावून घेतलेल्या अल्फा किंवा बीटा कणावर किती अेकक विद्युतभार असतो हे काढता येते असे त्याला आढळले. हे सर्व प्रयोग करण्यासाठी त्याने तोपर्यंत विल्सनचे मेघपात्र वापरले होते. १९०९ मध्ये त्याने विल्सनच्या मेघपात्राअैवजी अगदी वेगळ्या प्रकारच्या उपकरणाची योजना करायला सुरवात केली. मिलिकनच्या या नवीन उपकरणाची सोपी आकृती पुढे दिली आहे.



आकृती - 18
मिलिकनचे तैल-बिंदु उपकरण सोपी केलेली आकृती

त्याच उपकरणाचा जास्त तपशील देणारी आकृती पुढे दिली आहे.

अेक हजारांश मिलीमीटरहून कमी व्यास असलेले तैलबिंदू, 'अे' या जागेत फवारा मारण्याच्या यंत्राने सोडतात. तेथे सोडल्यानंतर ते तैलबिंदू गुरुत्वाकर्षणा-मुळे खाली खाली येऊ लागतात. त्यातील अेखादा तैलबिंदू c या सूक्ष्म छिद्रातून B या जागेत येतो. B या जागेवर प्रकाशाचा प्रखर झोत टाकला असल्याने व B जागेचा अंतर्भाग अेबोनाईटचा असल्याने, त्या जागेत आलेला तैलबिंदू दूरदर्श-काने पाहिल्यास ताऱ्यासारखा चमकतो. फवारा मारण्याच्या यंत्रातून तैलबिंदू सोडले असल्यानें, घर्षण होऊन तैलबिंदूवर विद्युतभार निर्माण होतो. हे विद्युतभार-वाही तैलबिंदू विद्युतक्षेत्राच्या दिशेप्रमाणे खाली पडतात किंवा वर खेचले जातात. विद्युतक्षेत्र बंद केल्यावर मात्र, त्यावर फक्त गुरुत्वाकर्षणाचे कार्य चालू राहाते व ते अस्ते अस्ते खाली येऊ लागतात.

विद्युतक्षेत्र बंद असता, काही ठराविक अंतरातून खाली पडण्याला तैल-बिंदूना सारखाच वेळ लागतो असे मिलिकनला आढळले. पण विद्युतक्षेत्र कार्यवाहीत असता, तैलबिंदू तेवढयाच अंतरातून खाली पडण्यास लागणारा वेळ भिन्न भिन्न असतो. पण तैलबिंदू पुन्हा पुन्हा खाली पडू देऊन, तो ठराविक अंतरातून खाली पडण्यासाठी लागणारा वेळ पुन्हा पुन्हा मोजल्यास,. काही कालमूल्ये पुन्हा पुन्हा मिळतात असे दिसते. उदाहरणार्थ तैलबिंदू फक्त गुरुत्वाकर्षणाखाली खाली पडू दिल्यास त्यास काही ठराविक अंतरासाठी १३.६ सेकंद लागतात. विद्युतक्षेत्र कार्यवाहीत आणल्यावर त्याच तैलबिंदूला पूर्वीच्याच अंतरातून खाली पडण्यास १२·५ सेकंद लागतात. तैलबिंदूवर धनविद्युतभार व खालच्या धातुपट्टीवर ऋण-विद्युतभार असल्याने, तैलबिंदु खाली पडण्याच्या वेळात घट होते. विद्युतक्षेत्राची दिशा बदलून, तो तैलबिंदू वर खेचून घेऊन, विद्युतक्षेत्राची दिशा पहिल्या सारखी करून तो खाली पडू दिला, तर पूर्वी इतक्या अंतरातून खाली पडण्यास त्यास आता २१·८ सेकंद वेळ लागतो. म्हणजे मधल्या वेळात त्या तैलबिंदूने अेक ऋण आयन शोषून घेतला असे सिद्ध होते. तैलबिंदू वर खेचून, पुन्हा पहिल्यासारखा खाली जाऊ दिल्यास आता ३४·८ सेकंद लागतात. त्या पुढच्या प्रयोगात ८५·५ सेकंद लागतात. पण पुन्हा हाच प्रयोग केल्यास ३४·६ सेकंद लागतात. म्हणजे या वेळी तैलबिंदूने अेक किंवा अधिक धन आयन शोषून घेतले असे सिद्ध होते· तैलबिंदू खाली पडून द्यायचा, वर खेचून घ्यायचा व पुन्हा खाली पडू द्यायचा असे प्रयोग करीत राहिल्यास पाठोपाठच्या कालमूल्यात नेहमीच फरक मिळतो. कालमूल्यात होणारा हा फरक, तैलबिंदू खाली पडण्याच्या वेगात फरक होत असल्याने मिळत असतो. तैलबिंदूच्या वेगात होणारी ही घट किंवा वाढ नेहमीच

दर सेकंदाला ०·००८८ सेन्टीमीटर किंवा त्याच्या गुणकाच्या प्रमाणात होत असते असे मिलिकनने केलेल्या प्रयोगात आढळून आले.

या वेळपावेतो साधे स्टॉप वॉच वापरून मिलिकनने प्रयोग केले. प्रयोगात जास्त अचूकता आणण्यासाठी त्याने १९१० पासून स्टॉप वॉच ऐवजी क्रोनोमीटर वापरायला सुरवात केली. अतिशय सूक्ष्म थेंबांच्या बाबतीत स्टोक्सचा नियम लावता येतो की नाही हे अद्यापपर्यंत नीट पारखले गेले नव्हते. त्या बाबतीत प्रयोग करून, सूक्ष्म थेंबाच्या बाबतीत स्टोक्सचा नियम लावायचा असल्यास, त्यात कोणती सुधारणा करायला पाहिजे हे त्याने शोधून काढले. त्यानंतर त्याने ऋणकणावरील विद्युतभाराचे गणित पुन्हा मांडले व तो भार $४·८०७ \times १०^{-१०}$ इलेक्ट्रोस्टॅटिक युनिट आहे असे ठरविले. १९१७ साली हे सर्व प्रयोग पुन्हा व जास्त अचूकतेने करून, आपण १९१३ साली ठरविलेला ऋणकणावरचा विद्युतभार बरोबर आहे, हे त्याने नक्की केले. ऋणकणावरच्या विद्युतभाराच्या मूल्यात संभाव्य चूक $\pm ०·००५ \times १०^{-१०}$ इलेक्ट्रोस्टॅटिक युनिट अेवढीच होती.

नोबेल पारितोषिक वितरण समारंभानंतर मिलिकनने दिलेल्या व्याख्यानातून घेतलेले काही उतारे खाली दिले आहेत.

“ विद्युतकणाविषयीची कल्पना फार जुनी आहे. १७५० मध्येच बेंजामिन फ्रॅंकलिनने ती मांडली होती. विद्युत कोणत्याही जास्तीत जास्त घन पदार्थामध्ये सहज प्रवेश करू शकते व तिच्या प्रवेशाला काहीच विरोध होत नाही यावरून विद्युतसूक्ष्म कणांच्या रूपाने अस्तित्वात असली पाहिजे असे बेंजामिन फ्रॅंकलिनचे मत होते.

विजेसंबंधी प्रयोग करणारापुढे पुष्कळदा अेक मोठा प्रश्न उभा राहातो. विद्युत म्हणजे काय ? उत्तर साधे, सोपे व सरळ आहे. तरी देखिल विद्युत काय हे खरो-खरीच नीटसे माहित नाही, असे विजेसंबंधी प्रयोग करणाराला शेवटी म्हणावे लागते.

केव्हाही करता येण्यासारखे साधे प्रयोग वैज्ञानिक करून पाहातो आणि त्यावरून काही व्याख्या मांडतो. वास्तविक पाहाता त्या व्याख्यात मूलभूत असा काही विचार नसतो. केलेल्या प्रयोगांचे वर्णनच त्यात असते.

रेशमी कापडावर काचेची नळी घासून, ती नळी भेंडीच्या लहानशा गोला–जवळ आणल्यास, त्या लहानशा, गोळयात काहीतरी नवीन, आश्चर्यकारक गुण–धर्माचा संचार होऊन, तो गोळा काचेच्या सळीपासून दूर फेकला जातो. तो गोल किती बलाने दूर फेकला जातो ते बल मोजता येते. तेव्हा वैज्ञानिक काय करतो? तो प्रयोगाचे सविस्तर वर्णन करतो आणि म्हणतो की त्या भेंडीच्या गोलावर धनविद्युतभार आला आहे. हा धनविद्युतभार किती असावा हे तो, किती बळाने भेंडीचा गोल दूर फेकला जातो यावरून ठरवितो.

नंतर अेबोनाइटची सळी चामड्यावर घासून, ती तो भेंडीच्या गोलाजवळ आणतो. भेंडीचा गोल अेबोनाइटच्या सळीकडे आकर्षिला जातो. अशा वेळी वैज्ञा–निक हा सर्व प्रयोग वर्णन करून म्हणतो की आता त्या भेंडीच्या गोलावर ऋणविद्युतभार आहे. म्हणजे प्रयोग करावा त्याप्रमाणे भेंडीच्या गोलावर धन किंवा ऋण विद्युतभार येऊ शकतो. विद्युतविषयीच्या सर्व कल्पनांची व प्रयोगांची सुरवात या दोन प्रयोगानी होते.

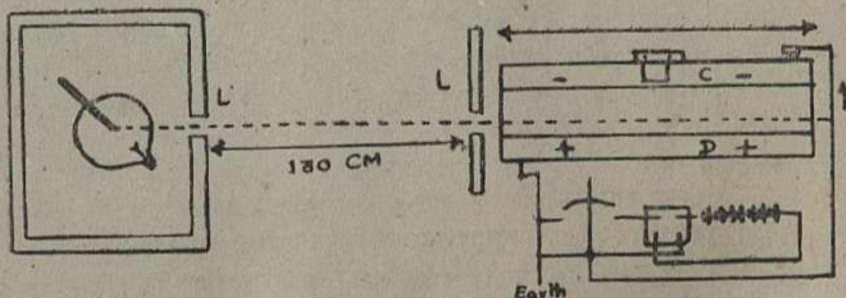
आता बेंजामिन फ्रँकलिनने मांडलेली विद्युतकणाची किंवा विद्युत-अणूची कल्पना पडताळून पहायची म्हटल्यास, भेंडीच्या गोलावरचा विद्युतभार अगदी कमीत कमी करून, व तो अगदी कमीत कमी मूल्याने वाढवून आणि तो गोल रेश-मावर घासलेल्या काचेच्या सळीच्या किंवा चामड्यावर घासलेल्या अेबोनाइटच्या सळीच्या जवळ आणून, त्या गोलाला दूर फेकणारे किंवा आकर्षणारे बल काही अेककांच्या प्रमाणात कमी जास्त होते का हे पाहिले पाहिजे.

१९०९ साली मी केलेले प्रयोग यशस्वी झाले त्याचे श्रेय मुख्यत्वे करून त्यासाठी वापरलेल्या उपकरणांना दिले पाहिजे.

त्या प्रयोगासाठी भेंडीचा स्थिरभाराचा लहानात लहान गोल वापरणे भाग होते. त्या गोलावरील बदलत्या विद्युतभारामुळे त्या विद्युतभारवाही गोलाच्या गतीमध्ये होणाऱ्या फरकावर, गुरुत्वाकर्षणाच्या फरकाचा फारसा परिणाम होणार नाही.

भेंडीच्या अेकविध गोलाअेवजी दुसऱ्या अेखाद्या अनेकविध पदार्थांचा गोल वापरणे किंवा भेंडीच्या गोलाअेवजी दुसरा काहीतरी वेगळा आकार भेंडीला देणे हितावह नव्हते. भेंडीचा गोल विद्युतक्षेत्रात आल्यानंतर, त्याला मिळणाऱ्या गती–वरून त्यावर किती बल कार्य करीत आहे हे ठरवायचे असल्याने भेंडीच्या गोलाचा

आकार अगदी प्रमाणबद्ध ठेवणे व त्याची घनता अगदी स्थिर ठेवणे भाग होते. म्हणून भेंडीच्या गोळाऐवजी तेलाचा संपूर्ण गोल व लहानात लहान थेंब वापरण्याचा आम्ही निर्णय घेतला; आणि अेक सहस्रांश मिलीमीटरहूनही कमी व्यासाचा, तेलाचा संपूर्ण गोल थेंब मिळविण्याकडे आम्ही लक्ष दिले. हवेच्या दाबाच्या सहाय्याने, सूक्ष्म थेंबाचा फवारा उडविण्याचा ॲटोमायझर वापरुन आम्ही इष्ट त्या आकाराचे तेलाचे थेंब मिळविले, व स्थिर तपमान राहील अशी व्यवस्था असलेल्या आणि हवेच्या झोताने थेंब इथे तेथे हलणार नाही अशा प्रकारच्या पात्रामध्ये अशा तैलबिंदूपैकी अेखादाच बिंदू येईल अशी व्यवस्था केली. स्थिर विद्युतक्षेत्र निर्माण करण्यासाठी काचेची सळी वापरण्याऐवजी दोन धातुपट्ट्या वापरल्या. खाली दिलेल्या आकृतीत या धातुपट्ट्या C व D या अक्षरानी दाखवल्या आहेत. त्यातील C धातुपट्टी बॅटरीच्या ऋणटोकाला व D धातुपट्टी बॅटरीच्या धनटोकाला जोडली असल्याने C व D धातुपट्ट्या मिळून एक अेअर कंडेन्सर तयार झाला. C व D मधील विद्युतक्षेत्र कार्यवाहीत आणण्यासाठी किंवा त्या क्षेत्राची कार्यवाही बंद करण्यासाठी बॅटरी व अेअर कंडेन्सर यांच्यामध्ये अेक स्विच वापरले होते.



आकृती - 19 मिलिकनची आकृती - 1

आयनावरील विद्युतभाराचे निर्धारण करणारे मिलिकनचे तैलबिंदु उपकरण.

विद्युतभारवाही तैलबिंदूवर कार्य करणारे बल अचूक मोजण्यासाठी, त्या तैलबिंदूने निदान एक सेन्टीमीटर तरी मार्गक्रमण करणे भाग होते. हा या उपकरणाचा सर्वात महत्त्वाचा भाग आहे. तेलबिंदूने चालून जायच्या मार्गाची लांबी

व विद्युतक्षेत्राची स्थिरता यावरुन C आणि D या धातुपट्टयांचा आकार ठरला. दोन्ही धातुपट्टया बावीस सेन्टीमीटर व्यासाच्या व गोल आकाराच्या होत्या. त्यांच्यामधील अंतर सोळा मिलीमीटर होते.

प्रयोगासाठी वापरलेले विद्युतक्षेत्र दर सेन्टीमीटरला सहा हजार व्होल्ट होते. या विशिष्ठ विद्युतक्षेत्रामुळे आमचा प्रयोग यशस्वी झाला. आम्ही जो प्रयोग केला त्यासारखे प्रयोग करायचे म्हटल्यास किती विद्युतक्षेत्र वापरायचे हे निलर्गानेच जणू काय ठरविले होते. ब्राऊनी चलनवलन होऊ नये यासाठी तैलबिंदू चांगले मोठे असावे, ते पूर्णपणे गोल व अेकविध असावे, वजनाला हलके व अबाष्पनशील असावे व ते चाळून जाण्यासाठी लागणारी अचूक मोजता येण्यासाठी, ते चाळून जाण्याचे अंतर शक्य तितके मोठे असावे. अेक किंवा दोन इलेक्ट्रॉन किंवा ऋणकण घेऊन जाणाऱ्या तैलबिंदूवर कार्य करणाऱ्या गुरुत्वाकर्षणापेक्षा विद्युतक्षेत्राचे आकर्षण जरा जास्त होईल, इतके त्या विद्युतक्षेत्राचे बल मोठ असले पाहिजे. इतक्या साऱ्या गोष्टी संभाळून प्रयोग करावा लागतो. आम्ही वापरलेले विद्युतक्षेत्र, प्रयोगांची उपकरणे आणि वर उल्लेखिलेल्या मापनात बसणाऱ्या गोष्टी यात जरा काही फरक झाला असता, तर आमचा प्रयोग यशस्वी झाला नसता. इलेक्ट्रॉनवरचा विद्युतभार असतो त्याच्या अेक दशांशाइतका असता किंवा हवेतील विद्युतविभव वापरले त्याच्या अेकदशांशाइतके असते तर ज्या तऱ्हेने आमचा प्रयोग यशस्वी झाला व त्याचे निष्कर्ष आम्हाला सांगता आले ते काहीही करता आले नसते.

तेलावर दाब देऊन, तैलबिंदु तयार करण्याच्या पद्धतीमुळे घर्षण होऊन, तैलबिंदुवर विद्युतभार आला.विद्युतभारवाही तैलबिंदु C पट्टीतील सूक्ष्म छिद्रातून खाली पडून देऊन C व D या पट्टयातील जागेत आणला आणि त्यावरील विद्युतभार विविध प्रकारे बदलला हे प्रयोग केल्याने विद्युतस्वरूप काय असते या विषयीच्या प्रश्नाला अगदी निसंदिग्ध उत्तर मिळाले. तैलबिंदुखालच्या हवेवर रेडीयमपासून मिळणारे अल्फा, बीटा व गॅमा किरण सोडून व तिचे आयनीकरण करून आणि मिळालेले आयन विद्युतक्षेत्राचा योग्य उपयोग करुन तैलबिंदुपर्यंत पोचवल्यावर, त्या तैलबिंदुवरील विद्युतभारात फरक करण्यात आला; किंवा त्या तैलबिंदुच्या पृष्ठभागावर, नीलातीत किरण सोडून किंवा तैलबिंदुवर वा त्याखालच्या जागेवर क्षकिरण सोडून, तैलबिंदुवरील विद्युतभारात फरक करण्यात आला. तैलबिंदूवरील तैलबिंदूवरील विद्युतभारात फरक करून व विद्युतक्षेत्र कायम ठेवून तैलबिंदुचा वेग मोजण्याच्या प्रयोगातून खालील निष्कर्ष निघाले.

(१) तैलबिंदुवरील विद्युतभार पूर्णपर्ण काढून घेणे शक्य आहे. तैलबिंदुवर विद्युतभार अजिबात नसल्यास, विद्युतक्षेत्र कार्यवाहीत नसताना, तो तैलबिंदु गुरुत्वाकर्षणाने ज्या वेगाने खाली पडतो, त्याच वेगाने तो विद्युतक्षेत्र कार्यवाहीत आणल्यानंतरही पडतो.

(२) विद्युतक्षेत्रात तैलबिंदुला विशिष्ठ वेग देणे शक्य आहे. तैलबिंदुला ही विशिष्ठ वेग देण्याची क्रिया पाहिजे तितके वेळा करून दाखवता येते. विशिष्ट विद्युतक्षेत्रामुळे तैलबिंदुला मिळणारा वेग कमीत कमी असल्यास, तो वेग त्या विद्युतक्षेत्राचे वैशिष्ठ्य असते. अेक ऋणकण किंवा इलेक्ट्रॉन स्वतःकडे ओढून घेतल्याने तैलबिंदुच्या वेगात होणारा फरक बराच मोठा असतो व तो मोजायला अडचण पडत नाही. पुष्कळदा, तैलबिंदुला गुरुत्वाकर्षणाने मिळणाऱ्या वेगापेक्षा, तैलबिंदुने स्वताकडे ऋणकण ओढून घेतल्याने त्याच्या वेगात होणारा फरक जास्त असतो.

(३) तैलबिंदुला मिळणाऱ्या कमीत कमी वेगाच्या दुप्पट, तिप्पट, चौपट किंवा पाचपट वेग तैलबिंदुला देता येतो. तैलबिंदुला मिळणाऱ्या वेगाचे हे गुणोत्तर प्रमाण नेहमी पूर्णांकात असते व कधीही अपूर्णांकात असत नाही.

ज्याने हा प्रयोग पाहिला आहे त्याने ऋणकण पाहिल्यासारखेच आहे; कारण अेकाच विवक्षित विद्युतक्षेत्रात गवताच्या गाभ्याच्या लहान गोलाला कमीत कमी किती विद्युतभार देता येतो हे त्याने त्या गोलाच्या गतीच्या प्रमाणात मोजलेले असते आणि त्या गतीच्या सहाय्याने विद्युत शक्तीची व्याख्या मांडता येते. शिवाय जिला विद्युतशक्ती म्हणता येते ती गवताच्या गाभ्याच्या गोलावरून काढून घेता येते, किंवा त्या गोलावर आणता येते आणि हे करीत असता गोलावर कार्य करणारी शक्ती शून्यापर्यंत खाली येते किंवा कमीत कमी शक्तीच्या पूर्ण पटीच्या प्रमाणात वाढवता येते.

– – – – –

विविध पदार्थांपासून तयार केलेल्या लहान मोठ्या आकाराच्या गोलांची खाली वर गती, त्या गोलाभोवती निरनिराळ्या दाबाखाली असलेले भिन्न भिन्न वायू असताना मोजून, ऋणकणावर किती विद्युतभार असतो हे मोजण्यात आले;

आणि हे करताना वायूवरील दाब दीड मिलीमीटर उंचीच्या पाऱ्यापासून अेक वातावरणाइतका बदलत आणला होता.

अशा रीतीने वायूंची विष्यंदिता अचूकपणे मोजण्यासाठी कित्येक वर्षे गेली. त्यानंतर कोणत्याही घनतेच्या वायूमधून कण जाऊ दिल्यास, त्याच्या बाबतीत स्टोकचा नियम कसा लागू करायचा–आहे तसाच की त्यात काही फेरफार करून हे ठरविण्यात आणखी काही काळ गेला.

ऋणकणावरचा विद्युतभार अचूकपणे मोजण्याच्या कार्याइतकेच महत्त्वाचे कार्य प्रकाशीय विद्युत परिणाम मोजण्यात मिलिकनने केले आहे. १९०५ मध्ये आइन्स्टाइनने प्रकाशीय विद्युत परिणामाचे (Photoelectric) स्पष्टीकरण प्रथमतः दिले. ऊर्जेचे क्वांटम किंवा एकक असतात या कल्पनेवर आधारलेले स्पष्टीकरण प्लँकने कृष्णवर्णी वस्तुतून बाहेर पडणाऱ्या किरणांचे स्पष्टीकरण देताना वापरले होते. ऊर्जेचे क्वांटम किंवा अेकक असतात ही कल्पना मान्य करून आइन्स्टाइनने ती कल्पना प्रकाशीय विद्युतपरिणामाचे स्पष्टीकरण देण्यासाठी वापरली होती. हे स्पष्टीकरण देताना, त्याने त्या परिणामाला लावता येईल असे अेक समीकरण मांडले होते. ते समीकरण

$$\pi e = \frac{R}{N}\beta v - P$$ असे आहे.

या समीकरणात e = ऋणकणावरचा विद्युतभार, π = वस्तुमधून ऋणकण बाहेर पडू न देण्यासाठी अवश्य असणारे विद्युतविभव, R = वायुस्थिरांक (8.315×10^7 अर्ग दर सेन्टिग्रेड अंशास), N = ॲव्होगाड्रो अंक $= 6.02 \times 10^{23}$ दर ग्रॅम अणुमधील अणूंची संख्या. β = अेक स्थिरांक $= 4.866 \times 10^{-11}$ v = वस्तूवर पडणाऱ्या प्रकाश किरणाची वारंवारता, P = प्रकाश ज्यावर पडतो त्या धातुमधून ऋणकण बाहेर पडण्यासाठी करावे लागणारे कार्य (अर्गमध्ये). $\frac{R}{N}\beta v$ याला वस्तूवर पडणाऱ्या प्रकाशकिरणांच्या ऊर्जेचा क्वांटम म्हणतात, व तो hv इतका असतो (जेव्हा h = प्लांक स्थिरांक $= 6.6 \times 10^{-27}$ अर्ग सेकंद) वेगवेगळ्या स्थिरांकांची मूल्ये आइन्स्टाइनच्या समीकरणात वापरल्यास ते $Ve = hv - P$ असे होते. यात V हा आइन्स्टाइनच्या मूळ समीकरणातील π होय.

आइन्स्टाइनचे हे समीकरण अगदी कसून पारखूनघेण्याचे कार्य मिलिकन व त्याच्या सहाय्यक शास्त्रज्ञानी शिकागोमधील रायरसन प्रयोगशाळेत केले. हे कार्य पुरे करायला त्यांना बरीच वर्षे लागली व त्यासाठी त्याना बऱ्याच मोठ्या व जटिल उपकरणसाहित्याची उभारणी करावी लागली. धातूवर प्रकाश पडल्यावर त्यातून बाहेर पडणाऱ्या ऋणकणांची ऊर्जा, त्या समीकरणातील 'P' ही संख्या विचारात न घेतल्यास, धातूवर पडणाऱ्या प्रकाशाच्या वारंवारतेच्या प्रमाणात असली पाहिजे असा निष्कर्ष आइन्स्टाईनच्या समीकरणावरून निघत होता. हे समीकरण नीटपणे पारखायचे असल्यास, शक्य तितक्या भिन्न भिन्न वारंवारतेच्या प्रकाशाचा वापर करुन, प्रयोग करणे अवश्य होते. त्यात अेक अडचण अशी की नीलातीत किरणाहून ज्यांची वारंवारता कमी आहे किंवा ज्या प्रकाश किरणांची तरंगलांबी नीलातीत किरणांच्या तरंगलांबीहून जांस्त आहे असे प्रकाशकिरण सर्व-साधारण धातूवर पडल्यास, त्या धातूमधून लक्षात यावेत अशा प्रमाणात ऋणकण बाहेर पडत नाहीत. सोडीयम, पोटॅशियम व लिथियम या अल्कली धातूवर नीलातीत व दृश्य प्रकाशकिरण पडल्यावर त्यातून ऋणकण बाहेर पडतात. त्यामुळे आइन्स्टाइनचे समीकरण पारखण्यासाठी हे अल्कली धातू वापरणे भाग होते. परंतु हवेमध्ये या धातूचे ऑक्सिकरण चटकन होत असल्याने जास्तीत जास्त निर्वातात प्रयोग करणे भाग होते. लहान लहान वृत्तचितीच्या आकारात हे धातू चक्रावर चढवून, ते चक्र निर्वाताबाहेरच्या वैद्युतीचुंबकाच्या सहाय्याने फिरविण्याची व्यवस्था असलेले उपकरण या प्रयोगासाठी वापरले. पाहिजे ती वृत्तचिती प्रकाशात आण–ण्याची त्या उपकरणात सोय होती. अल्कली धातु प्रकाशात आणण्याची त्या उप-करणात सोय होती. अल्कली धातू प्रकाशात आणताना, त्याचा पृष्ठभाग अगदी स्वच्छ व नितळ असावा, यासाठी वैद्युतीचुंबकावर चालणाऱ्या अेका चाकूची योजना केली होती. या चाकूने अल्कली धातूच्या पातळ चकत्या काढता येत व नव्याने कापलेल्या धातूचा पृष्ठभाग स्वच्छ व नितळ आहे याची खात्री असे. अल्कली धात मऊ असल्याने चाकूच्या सहाय्याने चटकन कापता येतात. अल्कली धातूच्या पृष्ठभागावर प्रकाश पडल्यावर त्यातून बाहेर पडलेले ऋणकण निर्वात नलिकेत ठेवलेल्या गॉझ सिलिंडरकडे जात. हा गॉझ सिलिंडर सूक्ष्मसंवेदनाक्षम इलेक्ट्रोमीटरला (विद्युत मापीला) जोडला असल्याने, बाहेर पडलेल्या ऋणकणांचे मापन लगेच होई. अल्कली धातुमधून ऋणकण बाहेर पडू नयेत म्हणून किती धन विद्युतविभव वापरावे लागते हे धातूवर पडणाऱ्या प्रकाशाच्या भिन्नभिन्न वारंवार–तेला मिलिकनने तपासले. या सर्व संशोधनाचे निष्कर्ष त्याने 'फिझिकल रेव्ह्यू'

या मासिकाच्या १९१६ सालच्या अंकात दिले आहेत. आइन्स्टाइनचे समीकरण बरोबर आहे व त्यातील 'h' या स्थिरांकाचे मूल्य $6 \cdot 56 \times 10^{-27}$ अर्ग सेकंद आहे असे मिलिकनच्या संशोधनाने ठरले.

पृथ्वी भोवतालच्या अवकाशातून पृथ्वीच्या वातावरणामध्ये अत्यंत तीव्र व भेदक किरण येत असतात असा १९१२ मध्ये हेसने शोध लावला. त्या शोधामुळे शास्त्रीय जगतात बरीच खळबळ उडाली. पण लगेच १९१४ मध्ये पहिले महायुद्ध सुरू झाल्याने, हेसच्या शोधाकडे शास्त्रज्ञानी फारसे लक्ष दिले नाही. महायुद्ध संपल्यानंतर १९२२ मध्ये मिलिकनने हेसच्या संशोधनात लक्ष घालायला सुरवात केली. पन्नास हजार फूट उंचीपर्यंत जाणाऱ्या हायड्रोजनच्या फुग्याबरोबर त्याने स्वयंमापन करणारी तापमापके, दाबमापके व इलेक्ट्रोस्कोप आकाशात पाठविले. ही उपकरणे परत पृथ्वीवर आल्यानंतर त्यानी केलेल्या नोंदी मिलिकनने तपासल्या. त्यावेळपावेतो त्या किरणांच्या भेदक शक्तीचे कोणीही मापन केले नसल्याने, त्या उपकरणानी केलेल्या नोंदींची नीट संगती लावता येईना. त्यानंतरच्या तीन वर्षात नॉर्मन ब्रिज प्रयोगशाळेत मिलिकनने व त्याच्या सहकाऱ्यानी याच विषयावर आपले लक्ष केंद्रित केले. कॅलिफोर्निया संस्थानातल्या दोन तळ्यांच्या पृष्ठभागाशी त्याने स्वयंमापन करणाऱ्या इलेक्ट्रोस्कोपच्या सहाय्याने किरणांच्या भेदकतेचे मापन केले. त्यातील अेक तळे समुद्रसपाटीपासून १ ८०० फूट उंचीवर होते व दुसरे ५१०० फूट उंचीवर होते. ५१०० फूट उंचीवर असलेल्या तळ्याच्या पृष्ठभागाशी इलेक्ट्रोस्कोपने किरणांच्या भेदकतेची जी नोंद केली, बरोबर तीच नोंद ११८०० फूट उंचीवर असणाऱ्या तळ्याच्या पृष्ठभागाखाली सहा फूटावर इलेक्ट्रोस्कोप ठेवल्यास मिळाली. म्हणजे सहा फूट जाडीच्या पाण्याच्या थराने किरणांचे जितके शोषण केले तितकेच शोषण ११८०० − ५१०० = ६७०० फूट जाडीच्या हवेचा थर करतो असे अनुमान निघाले. त्यामुळे इलेक्ट्रोस्कोपने मोजलेले किरण, पृथ्वीच्या वातावरणात बाहेरच्या अवकाशातून येत असतात असे अनुमान मिलिकनने काढले. १९२५ साली या विषयावर लिहिलेल्या लेखामध्ये त्याने या किरणास 'कॉस्मिक रेज' किंवा विश्वकिरण असे नाव दिले.

त्यानंतर विश्वकिरणाविषयी झालेल्या संशोधनात मिलिकनने सिंहाचा वाटा उचलला आहे. त्याने या विषयी स्वतः संशोधन केले एवढेच नाही तर आपल्या प्रयोगशाळेत व इतरत्र याच विषयावर संशोधन करणाऱ्या शास्त्रज्ञांना त्याने कित्येक उपयुक्त सूचना केल्या व मार्गदर्शनही केले. विश्वकिरणासंबंधी मोठ्या

प्रमाणावर प्रयोग करण्यास त्याने अॅन्डरसन या शास्त्रज्ञास प्रोत्साहन दिले. अॅन्डरसनने मिलिकनच्या सूचनेवरून पासाडेना येथील प्रयोगशाळेत केलेल्या संशोधनामुळे विश्वकिरणात पॉझिट्रॉन कण असतात हा शोध लागला. ऋणकणा-इतक्या वजनाचे पण धनविद्युतभारवाही कणाना पॉझिट्रॉन म्हणतात.

संशोधनाचे परिणाम

ज्या उपपत्ती सर्वसाधारणपणे मान्य झाल्या होत्या, त्या उपपत्तीना पोषक असा अचूक प्रायोगिक पुरावा पुरविण्याचे काम मिलिकनने पार पाडले. ऋणकण हा अंतिम विद्युतकण आहे याबद्दल बहुधा कोणाच्याही मनात शंका राहिली नव्हती. आता आदर्श व अभिजात म्हणून मानल्या गेलेल्या प्रयोगाचे सहाय्याने, ऋणकणा-विषयीचा हा समज खरा असल्याचे त्याने सिद्ध केले. ऋणकणावरचा विद्युतभार त्याने अत्यंत अचूक मोजला. यापेक्षा विद्युतभार नेहमी ऋणकणावरच्या विद्युत-भाराच्या पूर्ण पटीत असतो, अपूर्ण पटीत कधीही नसतो हा त्याचा शोध अधिक महत्त्वाचा आहे.

प्रकाशीय विद्युतविषयीच्या आइन्स्टाईनच्या समीकरणाबद्दल कोणाच्याही मनात तात्त्विक शंका नव्हत्या. तरी देखिल ते समीकरण अगदी कस्सून पारखून ते बरोबर असल्याची ग्वाही मिलिकनने दिली.

१९२४

कार्ल मॅन जॉर्ज सिगबान

(१८८६-   )

" क्षकिरण वर्णपटपद्धतीच्या शोधाबद्दल आणि त्या पद्धतीविषयी संशोधन केल्याबद्दल नोबेल पारितोषिक "

चरित्र

३ डिसेंबर १८८६ रोजी दक्षिण स्वीडनमधील ओरेको गावात कार्ल मॅन जॉर्ज सिगबानचा जन्म झाला. शालेय शिक्षण झाल्यानंतर १९०६ साली त्याने स्वीडन मधील लुंड विद्यालयात प्रवेश मिळविला. त्या विद्यापीठाचा अभ्यासक्रम पुरा करून तो विज्ञान शाखेचा पदवीधर झाला. १९११ मध्ये त्याने पोओच्. डी. पदवी संपादन केली. १९०७ ते १९१५ ही आठ वर्षे त्या विद्यापीठातील भौतिकी-शास्त्राचे प्राध्यापक जे. आर. राईडबर्ग यांचा मदतनीस म्हणून त्याने काम केले. १९१५ मध्ये त्याच विद्यापीठात सहकारी प्राध्यापक नेमण्यात आले. १९२० मध्ये प्रोफेसर राइडबर्गच्या मृत्यूनंतर त्यास त्यांच्या जागी प्राध्यापक नेमण्यात आले. १९०८ व १९०९ या दोन साली उन्हाळयाच्या सुट्टीचा फायदा घेऊन त्याने गॉटिन्जेन आणि म्युनिच विद्यापीठात संशोधन केले. यानंतर दर वर्षी उन्हाळयाच्या सुट्टीत निरनिराळया युरोपीय देशाना भेटी देऊन, तेथील विद्यापीठात चालू असलेल्या संशोधनाची त्याने माहिती करून घेतली. १९२३ मध्ये त्यास उप्साला विद्यापीठात भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक नेमण्यात आले. १९३७ साली स्टॉकहोम विद्यापीठाने त्याची भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक म्हणून नेमणूक केली. त्यानंतर स्टॉकहोमधील स्वीडीश रॉयल अॅकडेमी ऑफ सायन्सेस या संस्थेच्या अिन्स्टिटयूट

ऑफ अेक्झपेरिमेन्टल फिजिक्स (प्रायोगिक भौतिकीशास्त्रशाखा) या विभागाचा तो संचालक झाला. कार्यनिवृत्त होईपर्यंत तो याच संस्थेत संशोधन कार्य करीत होता.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

१९१४ पर्यन्त सिगबानने मुख्यत्वे करून विद्युतशास्त्र -आणि चुंबकशास्त्र या क्षेत्रात संशोधन केलि. त्यानंतर त्याने क्षकिरणविषयक संशोधनास व विशेष करून क्षकिरणवर्णपटशास्त्र या विषयांच्या संशोधनावर भर दिला.

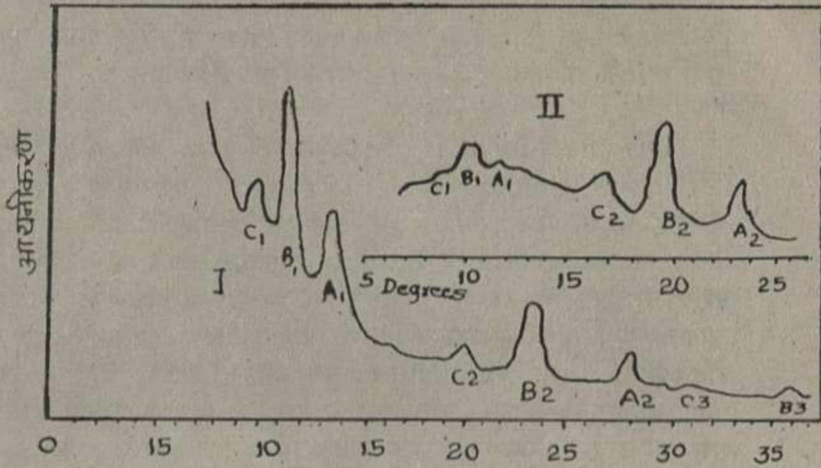
बार्कलाने क्षकिरणविषयक संशोधन केले त्यावेळी त्याची भेदकशक्ति हा अेकच गुणधर्म मापता व अभ्यासता येत होता. पण त्याच गुणधर्माचे मापन करून बार्कलाने असे शोधून काढले की क्षकिरण वस्तूवर पडल्यावर त्या वस्तूतून उत्सर्जित होणाऱ्या क्षकिरणाची भेदकशक्ती प्राथमिक किंवा मूळ क्षकिरणांच्या भेदकशक्तीहून भिन्न असते आणि वस्तुतून उत्सर्जित होणाऱ्या व्दितीयक क्षकिरणांची भेदकशक्ती त्या वस्तूचे वैशिष्ठ्य असते. व्दितीयक क्षकिरण दोन प्रकारचे असतात असे त्याने शोधून काढले, आणि त्याना के विकिरण आणि अेल विकिरण अशी नावे दिली. त्यापैकी के विकिरणांची भेदकशक्ती अेल विकिरणांच्या भेदकशक्तीहून जास्त असते. निराळ्या शब्दात के विकिरणाना अेल् विकिरणाहून जास्त काठिण्य असते. ज्यावर प्राथमिक क्ष किरण पडतात, त्या मूलतत्वाच्या अणुभाराप्रमाणे के आणि अेल् विकिरणांचे काठिण्य वाढत जाते असे त्यास आढळले. हाताशी असलेल्या तुटपुंज्या साधनसामुग्रीचा विचार करता त्या साधनसामुग्रीच्या मानाने बार्कलाने फार उत्तम प्रकारचे कार्य केले असे म्हटले पाहिजे.

स्फटिकामुळे क्षकिरणांचे अपवर्तन होते या फॉन लावेच्या शोधापाठोपाठ ब्रॅग पितापुत्रानी क्षकिरणवर्णपटमापी या अुपकरणाचा शोध लावला. आणि क्षकिरणांची तरंगलांबी अचूक मोजण्याचे अेक अुत्कृष्ट साधन शास्त्रज्ञाना उप-लब्ध करून दिले. ब्रॅग पितापुत्रानी तयार केलेल्या क्षकिरणवर्णपट मापीचा उपयोग करून क्षकिरणांच्या तरंगलांबीविषयी संशोधन करण्याऐवजी त्याच्या सहाय्याने स्फटिकरचना अभ्यासण्याकडे शास्त्रज्ञानी प्रथमतः लक्ष पुरवले. तरी सुद्धा अँन्टीकॅथोड ज्या धातूचा करावा त्या धातूवर तेथे निर्माण होणाऱ्या क्ष-किरणांचे गुणधर्म अवलंबून असतात असे ब्रॅगला आढळले. कॅथोड किरणामध्ये

असणारे जलदगती ऋणकण काहीतरी अडथळ्यावर आदळून अकाअेकी थांब-विल्यामुळे क्ष-किरण निर्माण होतात. रॉन्टजेनच्या अुपकरणामध्ये डिसचार्ज नलिकेच्या बाजू कॅथोड किरणांच्या मार्गात अडथळा निर्माण करीत असत. त्यानंतर तयार केलेल्या क्षकिरणनलिकामध्ये कॅथोड किरणातील ऋणकणाना थांबविण्याचे कार्य अॅन्टीकॅथोड करतो. कॅथोडकिरणांच्या मार्गात ठेवलेला व अॅनोडशी वैद्युतीसंबंध असलेला, उच्च विलयनबिंदू असलेल्या धातूचा अेक छोटासा गोळा अॅन्टी कॅथोड म्हणून वापरतात. क्ष-किरणांचा निरनिराळ्या मूलतत्वावर मारा करून मूलतत्वांचे वैशिष्ट्यदर्शक क्ष-किरण मिळविण्याचा प्रयोग बार्कलाने १९०८ मध्ये केला. क्ष-किरणांच्या माऱ्यामुळे मूलतत्वापासून वैशिष्ट्यदर्शक विकिरण मिळतात. तसेच वैशिष्ठ्यदर्शक विकिरण मूलतत्त्वावर कॅथोड किरणांचा मारा करून मिळतात असे जी. डब्ल्यू. सी. कार्य या संशोधकाने सिद्ध केले.

अेखादे विशिष्ट मूलतत्व अॅन्टीकॅथोड म्हणून वापरून त्यापासून मिळणाऱ्या क्षकिरणांच्या मार्गात स्फटिकांचा पृष्ठभाग ठेवून, त्यांचे परावर्तन करून मिळ-णाऱ्या आयनीकरण आलेखाचा अभ्यास केल्यास, त्या आलेखात त्याच त्या सापेक्ष अुंचीची तीच ती शिखरे आढळतात. फक्त ती शिखरे मिळविण्यासाठी स्फटिकाच्या पृष्ठभागाने क्षकिरणमार्गाशी किती अंशाचा कोन करावा ते त्या स्फटिकाच्या वैशिष्ठ्यावर अवलंबून असते, असे ब्रॅगला आढळले. ब्रॅगपितापुत्रानी लिहिलेल्या ' क्षकिरण आणि स्फटिकरचना ' या पुस्तकातून पुढील आकृती घेतली असून, त्या आकृतीत प्लॅटिनम धातूचा अॅन्टिकॅथोड वापरून मिळालेल्या क्षकिरणांच्या मार्गात रॉक सॉल्टच्या किंवा शुद्ध सोडीयम क्लोराइडच्या स्फटिकाच्या दोन भिन्न पात-ळ्याशी त्या क्षकिरणाचा होणारा कोन आणि तो कोन असता मिळणारा आयनी-करण विद्युतप्रवाह यांचा आलेख दिला आहे. दोन्ही पातळ्यांच्या बाबतीत A, B, आणि C, अशी तीन भिन्न शिखरे मिळतात, असे त्या आकृतीवरून सहज लक्षात येईल. या तीन शिखरापैकी B ची उंची सर्वात जास्त आहे, A ची साधारण आहे आणि C ची फारच कमी आहे.

दोन्ही आलेखात प्रथम आणि द्वितीय श्रेणीचा वर्णपट मिळतो. आकृतीतील खालच्या आलेखात तृतीय श्रेणीचा वर्णपटही पुसटसा दिसतो. जेव्हा रॉकसॉल्टच्या स्फटिकाअैवजी दुसरे स्फटिक क्षकिरणांच्या परावर्तनासाठी वापरले तेव्हाही आले-खात अशीच तीन शिखरे मिळाली. $n\lambda = 2d \sin Q$ हे ब्रॅग सूत्र वापरताना, आलेखातील मधले शिखर मिळविण्यासाठी, क्षकिरणांचा स्फटिक पृष्ठभागाशी



आकृती · 20
प्लॅटिनमचा वैशिष्ठ्यपूर्ण क्ष-किरण पट

होणारा Q हा कोन असतो, n हा वर्णपटक्रमांक असतो आणि d हे स्फटिक पातळ्यातील अंतर असते. ते सूत्र वापरून क्षकिरणतरंगलांबी काढल्यास, प्रत्येक वेळी क्षकिरणाना एकच तरगलांबी असल्याचे दिसून आले. परंतु प्लॅटिनमचा अॅन्टिकॅथोड वापरण्याऐवजी निकेल, टंग्स्टन किंवा ऱ्होडीयमचा अॅन्टिकॅथोड वापरल्यास, आलेखातील शिखरे वेगळ्या जागी मिळाली आणि ती शिखरे मिळविण्यासाठी वापरण्यात आलेली क्षकिरणलांबी भिन्न होती. यावरून ब्रॅग पितापुत्रानी असा निष्कर्ष काढला की अॅन्टिकॅथोड ज्या मूलतत्त्वाचा करावा, त्या मूलतत्त्वाचा क्षकिरणवर्णपट म्हणजे ही शिखरे होत आणि मूलतत्त्वांचे क्षकिरणवर्णपट त्यांचे वैशिष्ठ्य दाखवतात. दृश्यवर्णपटात ज्याप्रमाणे सोडीयमच्या विशिष्ठ पिवळ्या रेषा मिळतात, त्याप्रमाणे प्रत्येक मूलतत्त्वाचा क्षकिरणवर्णपट विशिष्ठ असतो. यानंतरचे संशोधन कार्य अेच्. जी. जे. मोस्ले याने केले आहे. महायुद्धात मोस्लेचा अकाली मृत्यू झाला नसता तर त्याला भौतिकीशास्त्रातील संशोधनाबद्दलचे नोबेल पारितोषिक खात्रीने मिळाले असते. तेव्हा त्याच्या कार्याचा उल्लेख केल्याखेरीज पुढे जाणे योग्य होणार नाही. क्षकिरणवर्णपटशास्त्राची जडण घडण घडवून आणण्याच्या कामी त्याचे संशोधन कार्य महत्त्वाचे ठरले आहे. इतकेच नाही, तर काही थोड्याच

वर्षापूर्वी बोरने मांडलेली अणुरचनेसंबंधीची अपपत्ती सिद्ध करण्याच्या कामी त्या संशोधनाने महत्त्वाची कामगिरी बजावली आहे. १९१३ सालच्या जुलै महिन्याच्या फिलॉसॉफिकल मॅगझीनमध्ये बोरचा अणुरचनेसंबंधीचा पहिला संशोधन निबंध आणि मोस्लेचे क्षकिरण विषयक दोन संशोधन निबंध अेकत्र मिळतात.

हेन्री ग्वीन जेफ्रीज मोस्ले (१८८७–१९१५) या संशोधकाचे शिक्षण ईटन ऑक्सफर्ड या विद्यापीठामध्ये झाले होते. मँचेस्टर विद्यापीठात त्याने रदरफोर्ड यांच्या हाताखाली संशोधन केले व त्यांच्याच हाताखाली तो अध्यापक म्हणून शिक्षणकार्य करू लागला. मोस्ले मँचेस्टरमध्ये असताना, नील्से बोर हा त्याचा सहाध्यायी होता. ब्रॅग मास स्पेक्ट्रॉमीटर किंवा ब्रॅगच्या भार-वर्णपटमापी वापरून त्याने सी. जी. डार्विनच्या सहकार्याने केलेले संशोधन १९१३ च्या जुलै महिन्यात प्रसिद्ध झाले. मोस्लेचे हे प्रयोग चालू असतानाच ब्रॅगने प्लॅटिनमचा क्षकिरणवर्णपट शोधून काढला. ब्रॅग आपल्या प्रयोगात क्षकिरणशलाका मिळविण्याकरिता अतिशय अरूंद फट वापरत होता. त्या फटीतून अधिक अरूंद फट मोस्ले आणि डार्विन यानी आपल्या प्रयोगात वापरली, आणि सोबतच्या आकृतीत दिलेल्या आलेखातील B व C ही शिखरे, अगदी जवळजवळ असणाऱ्या दोन वर्णपटरेषानी मिळतात असे सिद्ध केले. ब्रॅगने क्षकिरणशलाका मिळविण्याकरिता वापरलेली फट जास्त रुंद असल्याने, मूळातल्या दोन रेषा अेकच येऊन, वर्णपटात अेकत्र रेषा असावी असे वाटत होते. म्हणजे वर्णपटातील दोन रेषांचे विभिन्नीकरण करण्यात ब्रॅगला अपयश आले. या रेषांचे विभिन्नीकरण मोस्ले व डार्विन यानी करून दाखविले.

हे प्राथमिक संशोधन पार पाडल्यानंतर मोस्लेने सर्व ज्ञात मूलतत्त्वांच्या क्ष किरण वर्णपटांचा पद्धतशीर अभ्यास सुरू केला. या अभ्यासातून मिळालेली माहिती त्याने फिलॉसॉफिकल मॅगेझीन या नियतकालिकाच्या १९१३ डिसेंबरच्या आणि १९१४ अेप्रिलच्या अंकात प्रसिद्ध केली. निर्वात नलिकेत निरनिराळी मूलतत्त्वे अेका ठराविक क्रमाने अेका पट्टीवर ठेवून, ती पट्टी चुंबकाच्या सहाय्याने हलवून अेका वेळी अेकच मूलतत्त्व कॅथोड किरण शलाकेत आणण्याची युक्ती कार्वे या संशोधकाने वापरली होती. मोस्लेनेही मूलतत्त्वांच्या क्ष–किरण वर्णपटांच्या अभ्यासात तशाच प्रकारची युक्ती वापरली. सुरवातीच्या प्रयोगात क्ष–किरणांच्या अभ्यासासाठी त्याने आयनीकरण पात्र वापरले होते. त्याअैवजी विशेष संवेदनाक्षम फोटोग्राफिक काचपट्ट्या वापरून, त्याने निरनिराळ्या मूलतत्त्वापासून मिळणाऱ्या क्षकिरणांची वैशिष्ट्ये टिपली, आणि नंतर त्या काचपट्ट्यांचा तपशीलवार व सूक्ष्म

अभ्यास केला. ठराविक तरंगलांबीच्या विकिरणामुळे, फोटोग्राफीक काचपट्टीवर त्याला अेक रेषा मिळाली. – म्हणजे विकिरणातील निरनिराळ्या तरंगलांबीच्या संख्येइतक्या रेषा त्यास काचपट्टीवर मिळाल्या. क्षकिरणशलाका मिळविण्यासाठी जास्तीतजास्त अरुंद फट वापरून, मूलतत्त्वांच्या क्षकिरणातील ' के ' विकिरणांचा अभ्यास करता त्या विकिरणामध्ये एक रेषा नसून दोन रेषा असल्याचे त्यास समजून आले. ' के ' विकरणांच्या या दोन रेषापैकी, जास्त उठून दिसणाऱ्या रेषेला त्याने $k\alpha$ (के–अल्फा) रेषा असे नांव दिले, व दुसऱ्या पुसट रेषेला $k\beta$ (के बीटा) रेषा असे नांव दिले. म्हणजे के विकिरणात $k\alpha$ व $k\beta$ अशा दान रेषा असल्याचे सिद्ध झाले.या रेषाशी संबंधित असणाऱ्या तरंगलांबी ठरवल्यानंतर आणि तरंगलांबीच्या अुतरत्या क्रमाने म्हणजे उतरत्या वारंवारतेप्रमाणे त्यांची मांडणी केल्यावर, त्या तरंगलांबीशी संबंधित मूलतत्त्वे अेकदोन अपवाद सोडता, वाढत्या अणुभाराप्रमाणे मांडली गेली आहेत असे दिसून आले. ज्या अेकदोन मूलतत्त्वांच्या बाबतीत अपवाद करावा लागला त्या मूलतत्त्वांची रासायनिक गुणधर्माप्रमाणे केलेली मांडणी आणि वाढत्या अणुभाराप्रमाणे केलेली मांडणी यात अेकवाक्यता नव्हती. याआधी १९१३ मध्ये व्हान डेन ब्रोक याने मूलतत्त्वांच्या गुणधर्मांचा उहापोह करताना, त्यांच्या अणुभाराचा संदर्भ देण्याअैवजी, आवर्तनसारणीतील त्यांच्या स्थानाचा किंवा अणु–क्रमांकाचा संदर्भ देणे जास्त फायदेशीर आहे असे म्हटले होते व बऱ्याचशा मूलतत्त्वांचे अणुक्रमांक त्यांच्या अणुभारांच्या साधारण निम्म्याइतके आहेत असे दाखवले होते. काही गोष्टी अपवाद म्हणून सोडून दिल्यास, मूलतत्त्वाशी संबंधित क्षकिरण वर्णपट रेषांची वारंवारता Q हिचे वर्गमूळ, – उदाहरणार्थ $k\alpha$ रेषेच्या वारंवारतेचे वर्गमूळ, अेका मूलतत्त्वापासून त्याच्या लगेच पुढच्या मूलतत्त्वाकडे (आवर्तनसारणीतील स्थानाप्रमाणे) जाताना अेका ठराविक संख्येने वाढते. हीच गोष्ट $k\beta$ रेषांच्या वारंवारतेला व L (अेल्) रेषांच्या वारंवारतेला लागू असते. या शोधाचे महत्व मोस्लेच्याच शद्बात समजावून घेणे योग्य ठरेल असे वाटल्याने १९१३ च्या डिसेंबर महिन्यात प्रसिद्ध झालेल्या त्याच्या संशोधन निबंधातील काही भाग पुढे दिला आहे.

" रासायनिक गुणधर्माप्रमाणे मूलतत्त्वांची आवर्तनसारणीत मांडणी केल्यावर, अेका मूलतत्त्वाकडून त्याचा लगेच पुढच्या मूलतत्त्वाकडे जाताना मूलतत्त्वाशी संबंधित क्षकिरणवर्णपट रेषांची वारंवारता Q हिचे मूल्य काही

ठराविक प्रमाणात वाढत जाते ही गोष्ट चटकन ध्यानात येते. निकेल आणि कोबाल्ट ही दोन मूलतत्त्वे अपवाद म्हणून सोडून दिल्यास, इतर मूलतत्त्वांच्या बाबतीत रासायनिक गुणधर्माप्रमाणे लावलेला मूलतत्त्वांचा क्रम आणि वाढत्या अणुभाराप्रमाणे लावलेला मूलतत्त्वाचा क्रम आणि वाढत्या अणुभारा-प्रमाणे लावलेला मूलतत्त्वांचा क्रम अेकच आहे असे दिसून येते. Q चे मूल्य अेका ठराविक प्रमाणात वाढत जाते, तर मूलतत्त्वांचे अणुभार वाढण्याच्या बाबतीत कोणताच नियम लावता येत नाही. त्यामुळे निकेल व कोबाल्ट ही मूलतत्त्वे अपवाद ठरली यात आश्चर्य वाटायला नको. अेका मूलतत्त्वा-कडून त्याच्या लगेच पुढच्या मूलतत्त्वाकडे जाताना, Q चे मूल्य ठराविक प्रमाणात वाढत जाते याचा अर्थ मूलतत्त्वामध्ये मूलभूत स्वरुपाचे असे काही तरी आहे व ते काही तरी ठराविक प्रमाणात अेक मूलतत्त्वाकडून त्याच्या लगेच पुढच्या मूलतत्त्वा-कडे जाताना वाढत जाते. ते काही तरी म्हणजे मूलतत्त्व अणूंच्या केंद्रस्थानी असणाऱ्या अणुगर्भावरील धनविद्युतभार होय. अणुगर्भावर धनविद्युतभार असतो याचा निश्चित पुरावाही मिळाला आहे. अणूवर अल्फा कणांचा मारा करून आणि अणुमुळे होणाऱ्या अल्फा कणांच्या विकरणाचा अभ्यास करून रदरफोर्डने असा निष्कर्ष काढला आहे की मूलतत्त्वाचा अणुभार A असल्यास, $A/_2$ ऋणकणांच्या विद्युतभाराइतका पण धनस्वरूपाचा विद्युतभार अणुगर्भावर असतो. क्षकिर-णांचे मूलतत्त्वाकडून होणारे विकरण अभ्यासून बार्कलाने असा निष्कर्ष काढला आहे की मूलतत्त्वाचा अणुभार A असल्यास, $A/_2$ ऋणकण मूलतत्त्वाच्या अणु-गर्भाबाहेर असतात. म्हणजे रदरफोर्ड आणि बार्कला अेकच गोष्ट पण वेगवेगळ्या शद्वात सांगत आहेत. मूलतत्त्वांचा अणुभार साधारणपणे दोन दोन अेककानी वाढत जातो. तेव्हा N म्हणजे अणुगर्भाबाहेरील ऋणकणांची संख्या असे धरल्यास, N चे मूल्य अेका मूलतत्त्वाकडून त्याच्या लगेच पुढच्या मूलतत्त्वाकडे जाताना अेका अेक-काने वाढते असे म्हटले पाहिजे. तेव्हा आमच्या प्रयोगावरून असा निष्कर्ष निघतो की N ही अणुगर्भाबाहेरील ऋणकणांची संख्या मूलतत्त्वाच्या आवर्तनसारणीतील स्थानाबरोबर किंवा अणुक्रमांकाबरोबर असते. हायड्रोजनचा अणुक्रमांक अेक आहे, हेलियमचा दोन आहे, लिथियमचा तीन आहे ... कॅल्शियमचा वीस आहे ... झिंकचा तीस आहे ... इत्यादी गोष्टी आपल्याला चटचट बोलता येतात. मूल-तत्त्वांच्या अणुक्रमांकाविषयीची ही कल्पना व्हान डेर ब्रोकने प्रथमतः मांडली आणि त्याच्यानंतर बोरने आपल्या उपपत्तीत वापरली आहे. ज्या थोड्या बाबतीत रासा-यनिक गुणधर्माप्रमाणे लावलेला मूलतत्त्वांचा क्रम, अणुभारांच्या प्रमाणे लावलेल्या क्रमाशी जुळत नाही, त्या बाबतीत रासायनिक गुणधर्म अणुगर्भाबाहेरील ऋण-

कणांच्या संख्येवर अवलंबून असतात आणि A या अणुभाराचा N या ऋणकण संख्येशी काही तरी जटिल संबंध आहे असे म्हटले पाहिजे. निरनिराळ्या मूलतत्त्वांच्या क्षकिरणवर्णपटातील साम्यावरून असे म्हणता येते की क्षकिरण अणूच्या अंतर्भागातून निघतात आणि मूलतत्त्वांचे प्रकाशवर्णपट आणि रासायनिक गुणधर्म यांचा क्षकिरणाशी काही संबंध नाही. प्रकाश वर्णपट आणि रासायनिक गुणधर्म या गोष्टी अणूच्या अणुगर्भाबाहेरील स्वरूपावर अवलंबून असतात."

- - - - -

सिगबानच्या संशोधनामागची ही पार्श्वभूमी समजावून घेतल्यानंतर. आता सिगबानच्या संशोधनाचा परामर्श घ्यायला हरकत नाही. सिगबानच्या कार्याचे वैशिष्ठ्य आणि महत्त्व मोस्लेच्या संशोधन निबंधाच्या उताऱ्यातल्या शेवटच्या वाक्यावरून समजून येईल. क्षकिरणवर्णपटांची उत्पत्ती अणूच्या अंतर्भागात असते. अणूच्या अंतर्भागाचे गूढ समजावून घ्यावयाचे असेल तर क्षकिरणवर्णपटशास्त्र इतके प्रगत केले पाहिजे की अणूतील ऋणकणामध्ये झालेल्या प्रत्येक फरकाने निर्माण होणारी प्रत्येक वर्णपटरेषा फोटोग्राफिक काचेवर टिपता यायला पाहिजे हे ओळखून, सिगबानने त्याप्रमाणे आपल्या संशोधनाची दिशा ठरवली. कित्येक वर्षांच्या संथ आणि अविरत संशोधनानंतर सिगबान आणि लुंड विद्यापीठातील त्याचे सहकारी यानी हे उद्दिष्ट साध्य केले. निर्वातात कार्य करणाऱ्या वर्णपट-मापीची रचना त्यानी साध्य केली. या निर्वात वर्णपटमापीमध्ये सर्वच्या सर्व वर्ण-पटमापी, फोटोग्राफिक काच आणि क्षकिरण नलिकेतल्या अॅन्टीकॅथोडपासून निघणारे क्षकिरण जवळ जवळ संपूर्ण निर्वातात राहण्याची व्यवस्था होती. क्षकिर-णांचा परिणाम फोटोग्राफिक काचेवर टिपून घेण्यासाठी क्षकिरण पाच मिनिटापर्यंत फोटोग्राफिक काचेवर पाडावे लागत. क्षकिरण नलिकात सुधारणा केल्यामुळे पाच मिनिटाहून खूप कमी काळ पुरू लागला. वर्णपटमापीमध्ये सुधारणा केल्यावर, मोस्लेने शोधून काढलेल्या K_α व K_β या दोन रेषा प्रत्येकी दोन दोन रेषांच्या मिळून झालेल्या आहेत असे दिसून आले. वर्णपटरेषांच्या L मालिकेमध्ये मोस्लेला फक्त चार पाचच रेषा मिळाल्या होत्या. सिगबानला त्याच मालिकेमध्ये त्याहून कितीतरी जास्त रेषा मिळाल्या. काही मूलतत्त्वांच्या बाबतीत तर त्याला त्या चार पाच रेषाऐवजी अठ्ठावीस रेषा मिळाल्या. मूलतत्त्वांच्या क्षकिरणवर्णपटातील K व L रेषामालिकांचा पद्धतशीर व परिपूर्ण अभ्यास करून, त्या मालिकेतील रेषाशी

संबंधीत तरंगलांबी त्याने जास्तीत जास्त अचूकतेने मोजल्या. अेक लक्ष भागात अेक भाग संभाव्य चूक इतकी अचूकता त्याने आपल्या मापनात आणली साधारण-पणे जास्त अणुभार असलेल्या मूलतत्त्वांच्या क्षकिरणवर्णपटात, रेषांची अेक तिसरी मालिका मिळते असे त्यास आढळून आले. या तिसऱ्या मालिकेस त्याने M मालिका असे नाव ठेवले. सर्वात जास्त वजनदार मूलतत्त्वांच्या क्षकिरणवर्णपटात रेषांची चवथी किंवा N मालिका मिळते असे त्याला आढळले. सर्वात जास्त वजनदार अशा थोरीयम व युरॅनियम या दोन मूलतत्त्वांच्या क्षकिरणवर्णपटात पाचवी O मालिका आढळते असेही त्याने शोधून काढले. अनेक प्रयोगातून मिळवलेल्या माहितीपेक्षा, त्या माहितीचा त्याने बोर उपपत्तीच्या आधारे लावलेला अर्थ जास्त महत्त्वाचा आहे. तो अर्थ समजावून घेण्यासाठी, आपल्याला त्याच्या नोबेल व्याख्यानाकडे वळले पाहिजे. मूळ व्याख्यान स्वीडीश भाषेत दिलेले असून त्या व्याख्यानातील काही संबंधित भागाचा अनुवाद येथे दिला आहे.

" आताच मी सांगितलेल्या विविध विषयामध्ये क्षकिरणांचा अभ्यास अत्यंत अुपयुक्त आहे. म्हणून त्या विषयाचा अभ्यास करणे अवश्य आहे. इतकेच नाही तर क्षकिरणांच्या अभ्यासाने अणूंच्या अंतर्भागासंबंधी माहिती मिळते. यासाठी तरी तो अभ्यास केलाच पाहिजे. या विशिष्ठ अणुरचना विषयात, आपल्याला जी माहिती मिळते ती क्षकिरणभाषेत उच्चारलेली असते. ती सर्व माहिती समजावून घ्यायची असल्यास, आपल्याला प्रथमतः क्षकिरणभाषा शिकायला पाहिजे.

क्षकिरणभाषा ही विद्युतचुंबकीय तरंगांची भाषा आहे. आपण ज्या पाहतो, टिपतो आणि टिपून घेतल्यावर ज्यांच्या अर्थ लावतो त्या गोष्टी मुख्यत्वे करून विद्युतचुंबकीय विकिरणांची तरंगलांबी व तीव्रता या होत. आपण अेखादा विशिष्ट अणू विचारात घेतला तर त्या अणूवर पडणाऱ्या तरंगलांबीशी संबंधीत अशी काही ठराविक निबंधन असलेली तरंगप्रणाली त्या अणुमधून उत्सर्जित होते असे आपल्याला अनुभवाने कळून येते. अणूमधून उत्सर्जित होणाऱ्या तरंगलांबीचा त्या अणूवर कार्य करणाऱ्या रासायनिक किंवा कायिक बळाशी काहीही संबंध असत नाही, आणि अणूमधून उत्सर्जित होणारी तरंगप्रणाली फक्त अणूच्या बलक्षेत्रावरून ठरत असते.

तेव्हा आवर्तनसारणीतील ब्याण्णव मूलतत्त्वातून उत्सर्जित होणाऱ्या तरंग-लांबीचे मापन व त्या मापनाचे पृथक्करण या गोष्टी आपण प्रथमतः केल्या पाहिजेत.

सर्वसाधारण प्रकाशशास्त्रातील काही वर्णपटात वेगवेगळ्या तरंगलांबीच्या हजारो रेषा असतात. या रेषामध्ये काही तरी प्राथमिक स्वरूपाची क्रमबद्धता आणणे अजूनही शक्य होत नाही. परंतु अणूतून उत्सर्जित होणाऱ्या क्षकिरणांच्या बाबतीत निसर्गाने मोठ्या उदारतेने जास्त साधेपणा दाखवला आहे. प्रत्येक अणू– तून उत्सर्जित होणारी तरंगप्रणाली फारशी जटिल नसते. इतकेच नाही तर निरनिराळ्या अणूतून उत्सर्जित होणाऱ्या तरंगप्रणाली आपआपसात उत्तम प्रका– रची अनुरुपता दाखवतात. सर्वसाधारण प्रकाशशास्त्रात अशा प्रकारची अनुरूपता मेन्डेलीफच्या आवर्तनसारणीतील उभ्या स्तंभात असणाऱ्या मूलतत्त्वामध्ये दिसून येते. पण अणूतून उत्सर्जित होणाऱ्या क्षकिरणप्रणालीची अनुरुपता सर्व मूल– तत्त्वांच्या बाबतीत दिसून येते. मेन्डेलीफच्या आवर्तनसारणीतील पहिल्या उभ्या स्तंभातील मूलतत्त्वांच्या म्हणजे अल्कली धातूंच्या वर्णपटरेषाशी सर्वसाधारण क्षकिरणवर्णपटरेषांचे दिसून येणारे साम्य ही अेक विशेष नमूद करण्यासारखी गोष्ट आहे. याचे निदर्शन करण्यासाठी, अणूतून उत्सर्जित होणाऱ्या तरंगप्रणालीपासून तयार केलेल्या उर्जेच्या रेखाकृतीबद्दल थोडेसे बोलले पाहिजे.

अेका कोणत्याही विवक्षित क्षणी, अणू अशा काही स्थितीमध्ये आहे की त्यावेळी त्याची ऊर्जा E_1 आहे असे समजू या. त्याक्षणी अणूमध्ये काही तरी बदल घडून, त्याची ऊर्जा कमी होऊन E_0 होते असे समजल्यास, या बदलामुळे ($E_1 - E_0$) इतकी ऊर्जा मुक्तावस्थेत येते.

विचारासाठी घेतलेल्या अणूचे वैशिष्ठ्य असणाऱ्या तरंगप्रणालीतील तरं– गांच्या रूपाने ही ऊर्जा उत्सर्जित होईल, अशी बोरच्या कल्पनेसारखी आपण कल्पना करू या. उत्सर्जित झालेल्या तरंगांची तरंगलांबी λ व संबंधित बारंवारता v (नु) या चिन्हानी दाखवता येईल. तरंगलांबी व बारंवारता या मधला संबंध $v = 1/\lambda$ या समीकरणाने दाखवता येतो.

आइन्स्टाइन–बोर सूत्राप्रमाणे उत्सर्जित झालेल्या तरंगांची v, ही बारंवारता आणि अणूतून मुक्तावस्थेत आलेली ऊर्जा या मधला संबंध

$$v, = \frac{E_1 - E_2}{h}$$ या समीकरणाने दाखवता येतो. यात h हा

प्लँक स्थिरांक आहे.

आता यानंतर असे समजू या, की अशाच प्रकारच्या बदलामुळे अणूची E_2 ही ऊर्जा कमी होऊन E_0 होते आणि त्या बदलामुळे v_2 वारंवारतेच्या तरंगाचे उत्सर्जन होते. तसे झाल्यास,

$$v_2 = \frac{E_2 - E_0}{h}$$

अशाच प्रकारे विचार करीत गेल्यास,

$$v_3 = \frac{E_3 - E_0}{h}$$

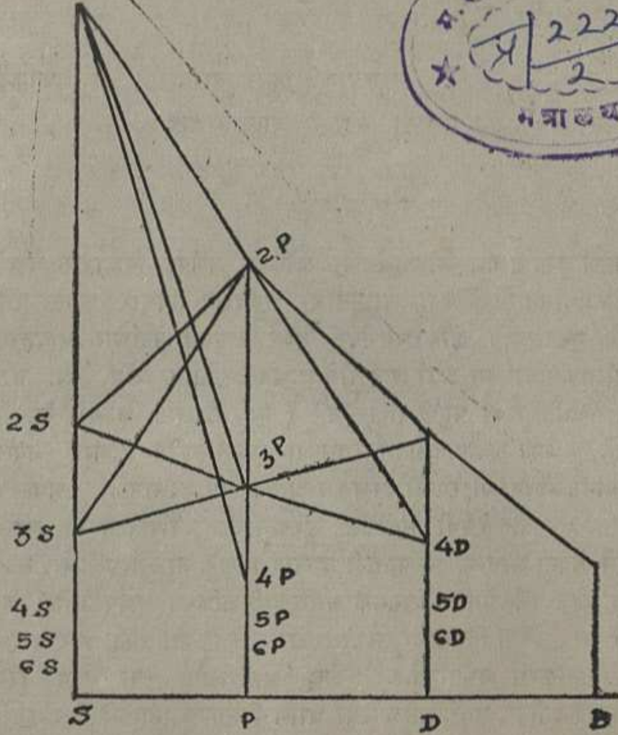
असे आणि यासारखी इतर समीकरणें मिळतील.

क्षकिरणवर्णपटात मिळालेल्या रेषांची तरंगलांबी मोजत गेल्यास V_1 V इत्यादींची मूल्ये प्रायोगिकरीत्या ठरवता येतील.

प्रायोगिक रीत्या मोजलेल्या तरंगलांबीचे पृथक्करण करुन, एकाच मालिकेत बसणाऱ्या वारंवारता निवडाव्या लागतात. दृश्य प्रकाशवर्णपट रेषांच्या बाबतीत अशा अेका मालिकेत बसविता येणाऱ्या वारंवारता निवडण्याच्या कामात प्रो. जे. आर्. राइडबर्ग यशस्वी झाले व त्यांचे ते संशोधन इतराना मूलभूत स्वरुपाचे व मार्गदर्शक ठरले.

अेकाच मालिकेत असणाऱ्या वारंवारतेची मूल्ये अेका सर्वसाधारण सूत्रात राइडबर्गनी मांडली. त्यानंतर प्रत्येक मूलतत्त्वाच्या वर्णपटातील रेषांच्या तरंग-लांबीवरुन मिळालेल्या वारंवारतांचे त्याच सूत्राने मांडता येईल असे निरनिराळे गट त्याने केले. अल्कली धातूंच्या वर्णपटातील रेषात त्याला वेगवेगळ्या प्रकारच्या तीन मालिका मिळाल्या. त्या मालिकाना त्याने प्रिन्सिपल, शार्प आणि डिफ्युज द्वितीयक अशी नावे दिली. वर्णपटरेषासंबधी अधिक संशोधन झाल्यानंतर, या तीन मालिकामध्ये चवथ्या बर्गमन मालिकेची भर पडली. सध्या या बर्गमन मालिकेला फंडामेन्टल मालिका असे म्हणतात.

माहित असलेल्या v च्या मूल्याला आइन्स्टाइनबोर सूत्र लावून, आपल्याला चार उर्जा मालिकांची मूल्ये काढता येतात. ही चार प्रकारची मूल्ये पुढील आकृतीत दाखवली आहेत.



आकृती - 21

[अल्कली अणुच्या उर्जा-पातळ्या वर्णपटातील रेषा देणारी काही संक्रमणे. सोपी केलेली आकृती त्याबरोबर आकृती २७ ही पहा]

आकृतीतील अेखाद्या बिंदूची आद्याच्या आठव्या रेषेपासून असलेली उंची त्या स्थितीत असणाऱ्या अणूच्या ऊर्जेचे मूल्य दाखवते. चार मालिका चार अुभ्या रेषानी दाखवल्या असून, त्या मालिकांच्या आद्याक्षरावरून S, P, D, F, अशी चार नावे त्याना दिली आहेत.

या ऊर्जा मालिकाकडून आपण पुन्हा अेकदा

$$v_1 = \frac{E_1 - E_0}{h}$$

या सूत्राकडे किंवा वारंवारता मालिकाकडे येऊ शकतो. ते कसे ते आकृतीत तिरप्या रेषानी दाखवले आहे.

– – – – –

आता आपण दृश्य प्रकाश वर्णपटाअैवजी क्षकिरण वर्णपट विचारात घेऊ. या क्षकिरण वर्णपटापासून मिळालेल्या माहितीचा अेकंदरीत विचार करता असे दिसते की सर्व मूलतत्त्वांचे क्षकिरणवर्णपट दृश्य प्रकाशवर्णपटांच्या बाबतीत वापरलेल्या ऊर्जाआकृतीसारख्या ऊर्जा आकृतीने दाखवता येतात. अेस्. पी. डी. अेफ् मालिकाशी संबंधीत ऊर्जा पातळयाखेरीज (या आकृतीत अुभ्या रेषानी दाखवल्या आहेत.) अेका ऊर्जापातळीतून दुसऱ्या ऊर्जापातळीत होणारे बदल त्या ऊर्जापातळयांना जोडणाऱ्या रेषांनी दाखवले आहेत. या बदलामुळे वर्णपटात रेषा दिसून येतात. आकृतीत रेषेची संबंधित सुरवातीची ऊर्जापातळी व बदल झाल्यानंतर सरते शेवटी झालेली ऊर्जापातळी दाखवली आहे. या आकृतीचे नीट परीक्षण केल्यास दृश्य वर्णपटातील प्रिंसिपल मालिकेशी क्षकिरश वर्णपटातील 'के' मालिकेचा संबंध आहे, किंवा निराळया शब्दात या दोन्ही मालिका परस्परा–सारख्या आहेत. क्षकिरण वर्णपटातील 'अेल्' मालिकेतील रेषा मात्र दृश्य प्रकाशवर्णपटातील व्दितीयक मालिकेतील रेषा आणि प्रिन्सिपल मालिकेतील काही रेषा मिळून झालेल्या आहेत.

क्षकिरण ऊर्जा आकृती अशा प्रकारे मांडल्याने अल्कली धातूंच्या बाबतीत लागू पडणारे (Combination) तत्त्व तसेच्या तसे क्षकिरणवर्णपटातील रेषांना लावता येते हे स्पष्ट होते. दोन्ही वर्णपटांच्या बाबतीत शेजारी शेजारी असणाऱ्या उभ्या रेषांनी दाखवलेल्या ऊर्जापातळयामध्ये बदल होत असतात. अेकाच ऊर्जा–पातळीत ऊर्जापातळी बदल होत नाहीत. होणारे बदल दोन ऊर्जापातळयाना जोडणाऱ्या तिरप्या रेषानी दाखवले आहेत.

सिगबानने यानंतरही वर्णपटविषयक संशोधन उप्साला विद्यापीठात चालू ठेवले. (धर्णपटातील) क्षकिरण व नीलातीत किरण यामधल्या वर्णपटातील

भागात मोडणाऱ्या रेषासंबंधी त्याने संशोधन केले. त्रिपार्श्वकाचेने किंवा लोलकाने क्षकिरणांचे वक्रीभवन घडवून आणता येईल असा शास्त्रज्ञांचा कयास होता. तो कयास खरा की खोटा हे पाहण्यासाठी त्याचे प्रयोग चालू होते. क्षकिरणांचे त्रिपार्श्व काचेमुळे वक्रीभवन करता येते याचा सिगबानने १९२४मध्ये शोध लावला. मोठा कोन असणारी त्रिपार्श्वकाच वापरल्यास आणि तिच्या पायाजवळच्या पृष्ठ· भागावर अत्यंत निरुंद क्षकिरण शलाका त्या पृष्ठभागास चाटून जाईल किंवा निसटता स्पर्श करून जाईल अशा तऱ्हेने धाडल्यास क्षकिरणांचे वक्रीभवन होते. आणि क्षकिरणांच्या ' के ' मालिकेतील चार रेषा फोटोग्राफिक काचेवर स्पष्टपण मिळतात असे सिगबानने सिद्ध केले.

संशोधनाचे परिणाम

सिगबानच्या संशोधनाचे महत्त्व किती आहे ते मुद्दाम सांगण्याची जरूर नाही. त्याने लिहिलेले ' स्पेक्ट्रॉस्कोपी डेर रॉन्टजेन स्ट्राहलेन ' किंवा ' क्षकिरणवर्णपट–शास्त्र ' या पुस्तकाचा इंग्रजी अनुवाद अुपलब्ध असून ते पुस्तक क्षकिरणवर्णपट–शास्त्रावरील अेक अधिकारी वाणीने माहिती देणारे पुस्तक आहे. ज्या ज्या वेळी क्षकिरणांच्या तरंगलांबी देण्याचा प्रश्न येतो, त्या त्या वेळी सिगबानने दिलेल्या तरंगलांबीच अधिकृत व प्रमाण मानण्यात येतात.

१९२५

जेम्स फ्रँक
(१८८२ - १९६४)

गुस्ताव हर्टझ
(१८८७ -   )

" ऋणकण व अणू परस्परावर आदळण्याविषयीचे नियम शोधून काढण्याबद्दल पारितोषिक "

चरित्र

फ्रँक

हॅम्बर्ग या जर्मन शहरामध्ये २६ ऑगस्ट १८८२ रोजी जेम्स फ्रँकचा जन्म झाला. हॅम्बर्गमधील विल्हेल्म जिम्नॅशियमचा अभ्यासक्रम पुरा केल्यानंतर, हाय-डेलबर्ग विद्यापीठात त्याने रसायनशास्त्राचा अभ्यास केला. यानंतर त्याने बर्लिन विद्यापीठात वारबर्ग व डरूड यांच्या मार्गदर्शनाखाली भौतिकीशास्त्रात संशोधन करुन १९०६ मध्ये पीअेच्.डी. पदवी संपादन केली. फ्रँकफुर्ट विद्यापीठात काही दिवस अध्यापनकार्य केल्यानंतर, तो बर्लिनला परतला. सुरवातीस प्रो. रुबेन्स यांचा सहाय्यक म्हणून काही दिवस काम केल्यानंतर १९११ मध्ये त्यास भौतिकी-शास्त्राचा प्राध्यापक नेमण्यात आले.

पहिले महायुद्ध १९१९ मध्ये संपल्यानंतर भौतिकी-रसायनशास्त्राच्या खास अभ्यासासाठी बर्लिनडालेम येथे स्थापन केलेल्या कैसर विल्हेल्म इंस्टिटयूटमध्ये



जेम्स फ्रैंक



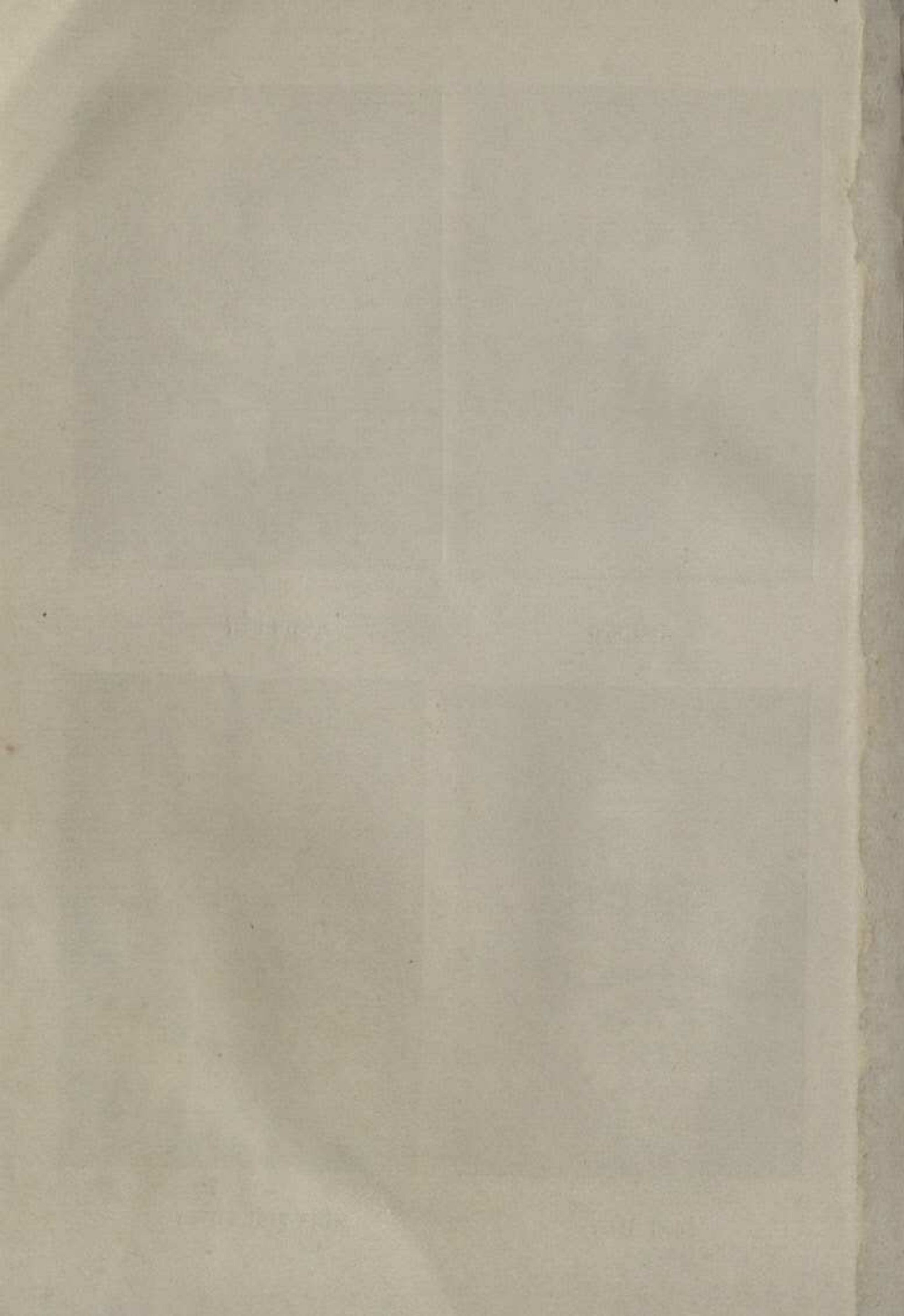
गुस्ताव हर्टज़



जिआं पेरिन



ऑर्थर हॉली कॉम्प्टन



त्यास नेमणूक मिळाली. त्यावेळी त्या इन्स्टिटयूटचे संचलन प्रो. फ्रिट्झ हावर यांच्याकडे होते व त्यास रसायनशास्त्रातील संशोधनाबद्दल १९१८ सालचे नोबेल पारितोषिक मिळाले होते. १९२० मध्ये फ्रँकला गॉटिन्जेन विद्यापीठात प्रायोगिक भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक व त्या विद्यापीठाच्या भौतिकीशास्त्र इन्स्टिटयूटचा संचालक नेमले. १९३५ मध्ये अमेरिकेतील जॉन्स हॉपकिन्स विद्यापीठात भौतिकी–शास्त्राचा प्राध्यापक म्हणून त्याची नेमणूक झाली व तेव्हापासून तो अमेरिकेत राहू लागला. १९३८ मध्ये शिकागो विद्यापीठाने त्यास भौतिकी रसायनशास्त्र विभा–गाचा प्रमूख नेमले. त्यानंतर त्याने अमेरिकेचे नागरिकत्व स्वीकारले.

२१ मे १९६४ रोजी त्यास ८२ व्या वर्षी गॉटिन्जेन येथे मृत्यू आला.

गुस्ताव हर्टझ

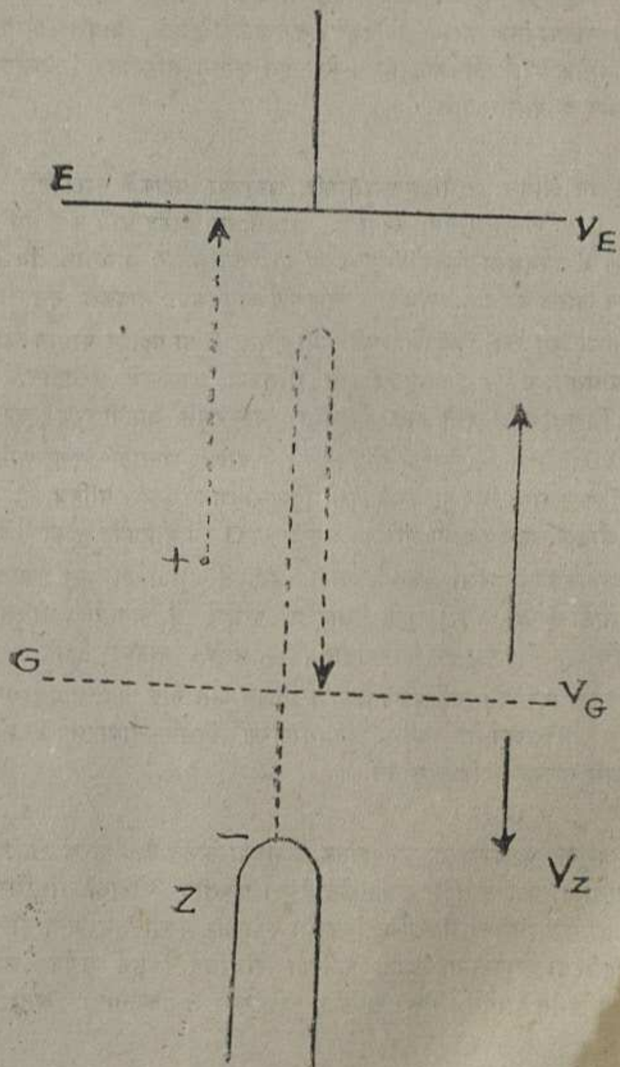
हॅम्बर्ग या जर्मन शहरात २२ जुलै १८८७ रोजी गुस्ताव हर्टझचा जन्म झाला. हॅम्बर्गमधील रील जिम्नॅशियमचा अभ्यासक्रम पुरा केल्यानंतर, १९०६ ते १९११ या वर्षात त्याने गॉटिन्जेन, म्युनिक व बर्लिन या विद्यापीठात भौतिकी–शास्त्राचा अभ्यास केला. कार्बॉनिक अॅसिडच्या रक्तपूर्व प्रकाशाच्या शोषण वर्ण–पटावर संशोधन ग्रंथ लिहून, त्याने बर्लिन विद्यापीठाची पीअेच्. डी. पदवी संपादन केली.

१९१३ मध्ये बर्लिन विद्यापीठाच्या भौतिकीशास्त्रशाखेत त्यास सहाय्यक अध्यापक नेमण्यात आले. जर्मन नागरीक या नात्याने त्याने महायुद्ध सुरू झाल्यानंतर जर्मन सैन्यात नाव नोंदवले व युद्धकार्यात भाग घेतला. महायुद्धाच्या सुरवातीसच जखमी झाल्याने त्याला बराच काळ हॉस्पिटलमध्ये राहावे लागले. हॉस्पिटलमधून बाहेर पडल्यानंतर १९१७ मध्ये त्याने बर्लिन विद्यापीठात अध्यापन कार्यास सुरवात केली. त्यानंतर १९२० ते १९२५ ही पाच वर्षे, त्याने हॉलंडमधील आइन्डहोवेन येथे फिलिप्स कंपनीच्या कारखान्यात संशोधक म्हणून कार्य केले. १९२५ च्या ऑक्टोबर महिन्यात हॅले विद्यापीठाच्या भौतिकीशास्त्र विभागाचा प्रमुख व भौतिकीशास्त्र इन्स्टिटयूटचा संचालक अशी दुहेरी नेमणूक त्यास मिळाली. तीन वर्षे त्या विद्यापीठात काम केल्यानंतर १९२८ मध्ये त्यास

बर्लिन शार्लंटनबर्गमधील टेक्निकल (तांत्रिक) विद्यापीठात भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक नेमण्यात आले. हे काम त्याने जेमतेम सहा वर्षे केले. त्याच सुमारास जर्मनीमध्ये नाझी पक्षाचा उदय झाला व, त्या पक्षाने जर्मनीतील सत्ताकेन्द्रे हस्त-गत करायला सुरवात केली. नाझी पक्षाचे राजकीय ज्यूवंशविरोधी धोरण पटत नसल्यामुळे त्याने प्राध्यापकीय कामाचा राजीनामा दिला व सीमेन्स कंपनीच्या दोन क्रमांकाच्या प्रयोगशाळेच्या संचालकपदाचे काम पत्करले. हे काम त्याने दुसरे महायुद्ध संपेपर्यंत संभाळले. १९४५ मध्ये रशियन सैन्य बर्लिनमध्ये शिरले व बर्लिनचा पाडाव झाला. त्यावेळी हर्टझ बर्लिनमध्येच होता. पण तो रशियन सैन्याच्या हाती सापडला की त्यावर काही वेगळे प्रसंग गुदरले याची नक्की माहिती मिळत नाही. महायुद्धानंतर प्रसिद्ध झालेल्या काही वर्तमानपत्री माहितीप्रमाणे त्याने महायुद्धानंतर रशियाच्या कॉकेशस प्रांतातील अणु संशोधन केन्द्रात संशोधन-कार्य करण्यास सुरवात केली. यानंतरचे त्याचे आयुष्य 'लोखंडी पडद्याआड' गेल्याने, त्याच्या उत्तर आयुष्याबद्दल विश्वसनीय माहिती नाही.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

प्रकाशीय विद्युत परिणामाविषयीच्या (फोटो इलेक्ट्रिक इफेक्ट विषयीच्या) लेनार्डच्या संशोधनाची माहिती देताना, धातूवर नीलातीत किरण पडल्यावर त्यातून बाहेर पडणारे ऋणकण त्यांच्या मार्गात ठेवलेल्या धातुंच्या चकतीपर्यन्त पोचू नयेत यासाठी त्या चकतीवर ऋणविद्युतभार ठेवण्याची क्लृप्ती लेनार्डने वापरली असे आम्ही सांगितले आहे. या क्लृप्तीचा उपयोग करून, वायूमधून ऋणकण धाडून, त्याचे आयनीकरण करण्याविषयी त्याने महत्त्वाचे संशोधन सुरू केले. ऋणकणांच्या सहाय्याने वायूचे आयनीकरण करायचे असल्यास ऋणकणाना काही तरी कमीत कमी वेग असला पाहिजे असे लेनार्डने दाखविले. त्याने त्यासाठी वापरलेले उपकरण पुढील आकृतीत दाखवले आहे. विजेने तापवलेल्या z या धातूच्या तारेतून बाहेर पडणाऱ्या कमी वेगाच्या ऋणकणाना वेग देऊन, ते G या धनविद्युत भारवाही धातूच्या जाळीवर सोडण्यात आले. Z व G या दोहोतील अंतर इतके अल्प होते की Z मधून बाहेर पडलेले बहुतेक सर्व ऋणकण, वायूच्या रेणूना मुळी सुद्धा न टकरावता धातूच्या जाळीपर्यंत पोचत होते. त्यामुळे त्या ऋणकणांचा वेग धातूच्या चकतीचे विद्युतविभव V_0 व धातूच्या तारेचे विद्युतविभव V_2 यांच्या-मधील फरकावर ($V_0 - V_2$, यावर अवलंबून राहणार, आणि त्यांची गतिज ऊर्जा $(V_0 - V_2)\,e$ इतकी असणार. यात e हा ऋणकणाचा विद्युत्भार होय. धातूच्या



आकृती - 22
क्रांतिक विभव मोजण्याची ट्रेन्डाईची पद्धत.

जाळीतून बाहेर पडल्यावर ऋणकण GE या बऱ्याच मोठ्या जागेत येतात. या जागेत ते आल्यानंतर त्यांच्या वायुरेणूबरोबर टकरी होऊन, वायूंचे आयनीकरण होते, आयनीकरणाने निर्माण झालेला अेक धन आयन आकृतीत टिंबाशेजारी + चिन्ह देऊन दाखवला आहे.

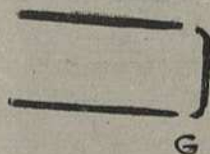
हे धन आयन ऋणविद्युतभारवाही धातूच्या पट्टीकडे आर्कषिले जातात. ऋणकण E पट्टीपर्यंत पोचून, त्यानी धन आयनांच्या विरुद्ध कार्य करू नये यासाठी G आणि E यामधला विद्युतविभव फरक G आणि Z यामधील विद्युतविभव फरकाहून जास्त करतात. त्यामुळे जे ऋणकण वायुरेणूवर आदळले नसतात अशा ऋणकणांचा वेग GE विद्युतक्षेत्रामुळे कमी होतो. E या पट्टीवर पोचायच्या अगो– दर ते थांबतात व पुढे जाण्याऐवजी ते धातूच्या जाळीकडे परततात. धातूच्या जाळीचे विद्युतविभव अस्ते अस्ते वाढवीत, वायुरेणूचे आयनीकरण करण्यासाठी व E ला जोडलेला विद्युतमापी घनविद्युतभार दाखविण्यासाठी ऋणकणास अवश्य ती ऊर्जा असण्यासाठी कमीतकमी किती विद्युतविभव ठेवले पाहिजे ते लेनार्डने शोधून काढले. ऋणकणाचा भार m असला व G ला पोचेपर्यंत v हा वेग अस– ल्यास ऋणकणाची ऊर्जा $\frac{1}{2}mv^2$ असते. म्हणजे $\frac{1}{2}mv^2$ही ऋणकणांची ऊर्जा असण्यासाठी (V_0-V_2) किती असायला पाहिजे हे लेनार्डने शोधून काढले. वायुरेणूंचे आयनीकरण सुरू करण्यासाठी, V_0 व V_2 यामध्ये ठेवावे लागणाऱ्या विद्युतविभव फरकास त्याने आयनीकरण विभव असे नाव दिले. हायड्रोजन, नाय– ट्रोजन व ऑक्सिजन या वायूंचे आयनीकरण विभव साधारणपणे ११ व्होल्ट असते असे लेनार्डने शोधून काढले.

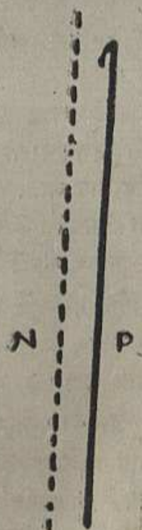
अणूवर ऋणकण आदळल्यानंतर, अणूच्या ऊर्जेत काय फरक होतो हे शोधून काढण्यासाठी, फ्रँक व हर्टझ यानी लेनार्डच्या पद्धतीत थोडासा सोयीस्कर फरक करून, ती पद्धत वापरली. पारितोषिकाचा स्वीकार केल्यानंतर दोघाही संशोध– कानी दिलेल्या व्याख्यानात त्यानी केलेल्या संशोधनाचे पूर्ण वर्णन आहे. मूळ व्याख्याने जर्मन भाषेत आहेत. प्रथमतः फ्रँकच्या व्याख्यानाचा अनुवाद दिला आहे.

" काही ठराविक गतिज ऊर्जा असलेला ऋणकण अेकाद्या अणूवर आदळ– ल्यास, त्याच्या ऊर्जेत फरक न पडता, त्या ऋणकणाच्या गतीला अणुकडून वेगळी

दिशा मिळेल. किंवा तो मूळपेक्षा वेगळ्या दिशेने जाऊ लागेल. रबराचा चेंडू भिंतीवर आपटल्यावर तो जसा वेगळ्या दिशेने परत येतो त्यासारखाच हा प्रकार असायला पाहिजे. ऋणकणाचे अणूवर आपटणे वेगवेगळ्या प्रकारे अभ्यासण्या-सारख आहे.

अणूवर अेकदाच आदळून, ऋणकण जाण्याच्या दिशेने घडून आलेल्या बदलाचा विचार करीत न बसता, ऋणकण अणूवर पुन्हा पुन्हा आदळून दर वेळी ऋणकणाची ऊर्जा थोडी थोडी कमी होत जाते. अशा प्रकारच्या प्रयोगाचा मी प्रथमत: विचार करणार आहे. त्यासाठी खालील आकृतीत दाखवलेली प्रयोगाची मांडणी मी करीन.





आकृती - ८३
ऋण कणांच्या उर्जा वितरणाचा शोध घेण्याची फ्रँक व हर्ट्झ यांची पध्दत

या G हे ऋणकण उत्पादन केन्द्र आहे. टंगस्टनच्या अगदी बारीक तारेतून विद्युतप्रवाह जाऊ देऊन, ती लालभडक होईपर्यंन्त तापविल्यास तीमधून ऋणकण

बाहेर पडू लागतात. तापवलेल्या टंग्स्टन तारेमधून ऋणकणनिर्मिती होते हे सध्याच्या दिवसात समजावून द्यायला पाहिजे असे नाही. तप्त टंग्स्टन तारेपासून काही सेन्टीमीटर अंतरावर N हा जाळीदार धातू इलेक्ट्रोड आहे. विद्युतघटातून विद्युतप्रवाह घेऊन, जाळीदार धातू इलेक्ट्रोडला धनविद्युतभार दिला तर टंग्स्टन तारेमधून बाहेर पडणारे ऋणकण जाळीदार धातु इलेक्ट्रोडकडे आकर्षिले जातील व त्यांचा वेग वाढत जाईल. G व N यामध्ये वायु नसल्यास, ऋणकणांची गतिज ऊर्जा किती असेल याचे समीकरण आपल्याला मांडता येते. G व N या मधल्या जागेतून कोणत्याही अणूवर न आदळता ऋणकण N पर्यंत पोचतात असे गृहीत धरल्यास हे समीकरण $\frac{1}{2}mv^2 = eV$ असे आहे. या समीकरणात $\frac{1}{2}mv^2$ ही प्रत्येक ऋणकणाची गतिज ऊर्जा आहे. e हा ऋणकणावरचा विद्युत-भार आहे व V हा कार्यकारी विद्युतविभव फरक आहे. विद्युतविभव फरक व्होल्टमध्ये मोजल्यास व विद्युतविभव फरक १० व्होल्ट असल्यास ऋणकणाची ऊर्जा $१०^{-११}$ अर्ग असायला पाहिजे असे उत्तर येते.

क्ष व्होल्ट इलेक्ट्रॉन हा वाक्प्रचार सध्या वापरात आहे. यात इलेक्ट्रॉनला किंवा ऋणकणाला ज्यामुळे वाढता वेग प्राप्त होतो, ते क्ष व्होल्ट हे ऋणकणांच्या ऊर्जेचे माप आहे. याच वाक्प्रचाराचा वापर करायचा असल्यास, क्ष व्होल्ट हा G व N यामधील विद्युतविभव फरक आहे. N या धातूच्या जाळीपर्यन्त ऋणकण आल्यानंतर काही ऋणकण अडविले जातात व न अडविले गेलेले ऋणकण जाळीतून पलीकडे जातात. जाळीतून पलीकडे गेलेल्या ऋणकणाना N व P यामधल्या जागेमध्ये अडवायला काही अडथळा नसल्यास, ते ऋणकण P इलेक्ट्रोडपर्यंत जाऊन पोचतात व त्यामुळे ऋणविद्युतप्रवाह सुरू होतो. P अिलेक्ट्रोडला गॅल्व्हॅनोमापी जोडला असल्यास विद्युतप्रवाह सुरू झाल्याचे गॅल्व्हॅ-नोमापीवर समजते. N व P यामध्ये विद्युतक्षेत्र निर्माण करून, धातूच्या जाळीतून पलीकडे जाणाऱ्या ऋणकणांची ऊर्जा कोणत्या प्रकारे निरनिराळ्या ऋणकणात विभागली आहे हे आपल्याला शोधता येते. उदाहरणार्थ धातूच्या जाळीशी काटकोन करणाऱ्या दिशेने इलेक्ट्रॉनची (ऋणकणांची) चार व्होल्ट शलाका जात असेल तर N व P यामधील विद्युतविभवफरकावर अवलंबून असणारा व गॅल्व्हॅनोमापीने मोजला जाणारा विद्युतप्रवाह, P चे व्होल्टेज N च्या व्होल्टेजहून चार व्होल्टने कमी होईपर्यंत स्थिर राहाते. P चे व्होल्टेज N च्या व्होल्टेजहून चार व्होल्टने कमी झाल्याबरोबर, गॅल्व्हॅनोमापीतून जाणारा विद्युतप्रवाह अेकदम शून्यावर

येतो, कारण अशा वेळी P कडे येणाऱ्या ऋणकणांना P मागे लोटू लागेल व ते सर्व N कडे परततील. अिलेक्ट्रोडमधील जागेत आपण हेलियमसारखा सुस्त वायू किंवा धातूचे बाष्प सोडले तर G आणि N यामधील जागेतून जाताना ऋणकणांच्या मार्गात वायूच्या अणूचा किंवा धातूच्या अणूंचा अडथळा होईल व त्या अणूवर आदळत आदळत ऋणकण पुढे जातील. N आणि P यामधील जागेतून जाताना ते कोठल्याही अणूवर आदळणार नाहीत असे होण्याइतका वायूचा किंवा धातुबाष्पाचा दाब ठेवला तर P इलेक्ट्रोडपर्यंत पोचणाऱ्या ऋणकणांची ऊर्जा कोणत्याप्रकारे विभागली गेली आहे याचा अभ्यास करता येतो व तसा तो केल्यास अणूवर आदळण्याने ऋणकणाच्या ऊर्जेत फरक पडला आहे का म्हणजे ती कमी झाली आहे का ते ठरवता येते.

– – – – –

ऋणकणांची ऊर्जा कोणत्या प्रकारे विभागली गेली आहे याचा अभ्यास केल्यावर असे आढळून आले की ऋणकणाना प्रवेग देणारे विद्युतविभव पहिल्या-इतकेच असल्यास म्हणजे त्यात फरक नसल्यास, निर्वातामध्ये मंदगती ऋणकणांची गतिज ऊर्जा जितकी असते तितकीच ऊर्जा अणुभाराचे अेकाण्वित वायू फारशा जास्त दाबाखाली नसल्यास त्या ऋणकणांना प्राप्त होत असते.

– – – – –

अिलेक्ट्रोडमधल्या जागेतील वायू ज्यावेळी जास्त दाबाखाली असतात त्यावेळी वायूच्या अणूवर ऋणकण आदळण्याचे किंवा आपटण्याचे प्रकार बऱ्याच वेळा घडतात व अशा वेळीच ऋणकण अणूवर आदळण्याने त्यांच्या ऊर्जेत होणारा फरक ओळखता येतो. वायूच्या अणूवर ऋणकण आदळण्याचा प्रकार किती वेळा होईल याचे गणित हर्टझने नंतर मांडले. जास्त जास्त दाबाखाली, ऋणकणांच्या ऊर्जेत होणाऱ्या फरकांच्या अभ्यासावरून त्या असे ठरविले की हेलिमय अणूबरोबर ऋणकणाची टक्कर होण्यापूर्वी ऋणकणाची जी ऊर्जा असते तिचा $१{\cdot}२ \times १०^{-४}$ ते $३{\cdot}० \times १०^{-४}$ इतका भाग दर टकरीबरोबर ऋणकणाकडून हेलिमय अणूवर फक्त आदळला व इतर काहीही प्रक्रिया झाली नाही तर ऋणकणाच्या मूळ ऊर्जेपैकी $२{\cdot}९ \times १०^{-४}$ इतकी ऊर्जा हेलिमय अणूकडे येते असे हर्टझने ऋणकण व हेलिमय अणू यांच्या भाराच्या व वेगाच्या अभ्यासाने ठरवले.

दर टकरीबरोबर मूळ ऊर्जेच्या १.२×१०^{-४} ते ३.०×१^{-४} इतकी उर्जा दुसऱ्या अणूकडे येत असल्याने अशा टकरींना इलॅस्टिक किंवा प्रत्यास्थ टकरीमध्ये गणना करायला हरकत नाही.

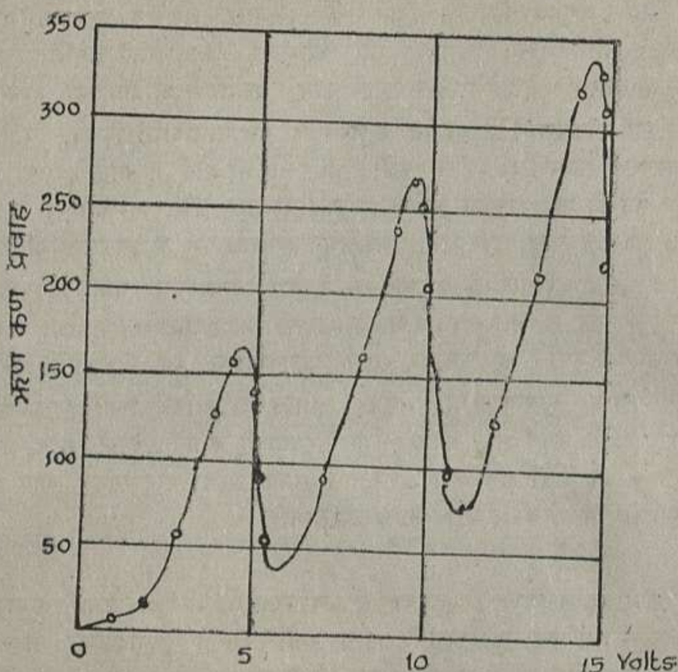
कमी गतीमान ऋणकणांच्या बाबतीत प्रत्यास्थ टकरींचा नियम जसा लावता येतो, तसा तो अती गतीमान ऋणकणांच्या बाबतीत लावता येतो का? अर्थात नाही. वायुमधून विद्युतप्रवाह सोडवण्याविषयी केलेल्या प्रयोगावरून असे दिसते की कॅथोड किरण अणूवर आदळल्यास ते अणू अनुदीप्तीमान होतात. वेगळ्या शब्दात त्या अणूचे आयनीकरण होते. अशा वेळी अणूवर आदळणाऱ्या ऋणकणांच्या ऊर्जेचे अणूमधील ऊर्जेमध्ये रूपांतर होते. ऋणकणांचे अणूवरील आघात अप्रत्यास्थ असतात आणि ऋणकण आपली बरीचशी ऊर्जा गमावून बसतो. त्यामुळे अणूचे आयनीकरण करण्यासाठी, ऋणकणाला कमीत कमी किती गतिज ऊर्जा असली पाहिजे हे गणिताने ठरविता येते. ऋणकणांची ही गतिज ऊर्जा व्होल्टमध्ये मोज-यास त्या ऊर्जेला आयनीकरण विभव किंवा आयोनायझेशन पोटेन्शियल म्हणतात.

– – – – –

निर्वात पंप तंत्रामध्ये झालेल्या सुधारणांचा पुरेपूर फायदा घेऊन, आम्ही लेनार्डचे प्रयोग पुन्हा करून पाहिले. त्यावेळी आम्हाला निरनिराळ्या वायूंच्या बाबतीत विशिष्ट व संपूर्णपणे भिन्न मूल्ये मिळाली. लेनार्डच्या प्रयोगामध्ये, तप्त धातूच्या तारेतून ऋणकण बाहेर पडल्यावर त्यांच्यावर योग्य अशा विद्युतक्षेत्राचा परिणाम घडवून आणून त्यांचा वेग प्रथमतः वाढवला होता. त्यानंतर ते ऋणकण धातूच्या जाळीतून बाहेर मोकळ्या जागेत गेल्यानंतर, त्यांची अणूबरोबर टक्कर होत होती. ऋणकण वेगाने पुढे जात असता, मापनयंत्रे ज्या इलेक्ट्रोडला जोड-लेली असतात, तेथे ते वेगाने जाणारे ऋणकण पोचू नयेत यासाठी विरूद्ध दिशेने विद्युतक्षेत्र लेनार्डने वापरले होते. परंतु ऋणकण अणूवर आदळण्याने अणूचे आयनीकरण झाले तर ज्या विद्युतक्षेत्रामुळे ऋणकण इलेक्ट्रोडपर्यंत पोचू शकत नाहीत तेच विद्युतक्षेत्र अणूपासून नव्याने तयार झालेले धन आयन ऋण इलेक्ट्रो-डकडे वेगाने पोचविण्याचे कार्य करते. म्हणून अणूचे आयनीकरण घडवून आणील इतकी ऋणकणांची ऊर्जा असल्यास विद्युतप्रवाह सुरू झाल्याचे दिसते.

प्रत्येक अणूच्या विशिष्ट चिकित्सक विभवास, अणू व ऋणकण यांचा परस्परावर आघात झाल्यास, ते आघात अप्रत्यास्थ असतील असे अपेक्षित आहे. ते तसे अप्रत्यास्थ आहेत हे सिद्ध करण्याचे काम, प्रत्यास्थ आघातांच्या बाबतीत वापरलेल्या उपकरणाने करता येते. ऋणकणांचा वेग वाढविणारे विभव, चिकित्स मूल्यापलीकडे वाढवले व ऋणकणऊर्जेची कशी वाटणी होते हे पाहिले तर असे समजून येते की ऋणकणाला चिकित्सक वेग असल्यास, अशा ऋणकणाचा अणूवर आघात झाल्याबरोबर त्याची सर्व ऊर्जा अणूकडे जाते. पण ऋणकणाला चिकित्सक गाहून अधिक वेग असल्यास, ऋणकणाचा अणूवर अप्रत्यास्थ आघात झाल्यावरक याच्या चिकित्सक वेगाशी संबंधीत अेवढीच ऊर्जा अणला मिळते व बाकीची ऊर्जावे गतिज ऊर्जेच्या रूपाने ऋणकणाकडे राहाते. ऋणकणाचा वेग वाढवणारे विभव वाढवत गेल्यास ऋणकणाचा अणूवर आघात झाल्यावर किती ऋणकणाना शून्याहून अधिक ऊर्जा असते त्यांची संख्या ठरवायची व प्रवेग देणारे विभव आणि शून्याहून अधिक ऊर्जा असलेल्या ऋणकणाची संख्या यांचा परस्परसंबंध काय आहे हे पाहावयाचे अेवढे काम आम्हाला करावे लागले.

पाण्याच्या बाष्पात विद्युतप्रवाह सोडल्यावर वाढत्या विभवाप्रमाणे, शून्याहून अधिक ऊर्जा असलेल्या ऋणकणांची संख्या कशी वाढते हे सोबतच्या आकृतीत आलेखाने दाखवले आहे. या प्रयोगास $\frac{1}{2}$ व्होल्टहून जास्त ऊर्जा असलेल्या ऋणकणांची संख्या मोजली होती. पाण्याच्या बाष्पाच्या बाबतीत केलेल्या प्रयोगा-वरून असे दिसते की ऋणकणांचा वेग वाढवणाऱ्या विद्युतविभवात वाढ करीत गेल्यास, ऋणकण आदळण्याने सुरू होणारा ऋणकणप्रवाह वाढत जातो व विद्युतविभव चिकित्सक ऊर्जेइतके झाल्यास ऋणकणप्रवाह अेकदम जवळ जवळ शून्यापर्यंत खाली येतो. चिकित्सक ऊर्जेहून जरासुद्धा कमी नाही की जास्त नाही इतकी ऊर्जा ऋणकणापासून मिळत असल्याने, चिकित्सक ऊर्जेहून जास्त ऊर्जा ऋणकणाना असल्यास, वाढत्या विद्युतविभवामुळे ऋणकणप्रवाह पुन्हा नव्यानें वाढू लागतो व ज्या ऋणकणांची ऊर्जा अर्ध्या व्होल्टहून जास्त असते त्यांच्या चिकित्सक ऊर्जेपर्यन्त विद्युतविभव पोचल्यावर पुन्हा अेकदा ऋणकण-प्रवाह शून्याच्या जवळपास खाली येतो. चिकित्सक ऊर्जेच्या गुणक प्रमाणात किंवा पूर्ण पटीत ऋणकणांची ऊर्जा ज्या ज्या वेळी असते, त्या त्या वेळी ऋणकणप्रवाह कमी होत रहातो. ऋणकणांचा वेग वाढविणारे विद्युतविभव आणि ऋणकणप्रवाह



आकृती - 24
ऋणकण-आघात प्रयोगांचा निश्चितार्थ
ऋणकण-प्रवाह त्वारित विभवाचे फल
असा आलेख काढला आहे.

यांच्या आलेखावरुन पाऱ्याच्या बाष्पात चिकित्सक ऊर्जा ४.९ व्होल्ट आहे असे स्पष्ट दिसते.

आमचे हे संशोधन पुरे व्हायच्या सहा महिने अगोदर अणुरचनेविषयीची नील्स बोरची उपपत्ती प्रसिद्ध झाली. नील्स बोरच्या उपपत्तीची आधारभूत तत्वे व आमचे निष्कर्ष यांचा कसा मेळ बसतो हे पहाण्यासारखे आहे.

बोरच्या उपपत्तीप्रमाणे अणूला काही ठराविक ऊर्जा अंतर्गत ऊर्जेच्या रुपाने घेणे शक्य होते. व त्यामुळे अेका स्थिर स्थितीतून दुसऱ्या स्थिरस्थितीत

अणू जाऊ शकतो. जर ऊर्जापुरवठा केल्यावर अेका स्थिर स्थितीतून दुसऱ्या जास्त ऊर्जेच्या उत्तेजित स्थिर स्थितीत बदल झाला तर अणूने स्वीकारलेली विकिरणांच्या क्वांटारूपाने hv = ऊर्जा या समीकरणाला धरून बाहेर पडेल. जास्तीत जास्त तरंग लांबीच्या शोषणरेषेची वारंवारता गुणिले प्लँकचा स्थिरांक बरोबर ऊर्जा या समीकरणाने अणूला प्रथम उत्तेजित स्थिती प्राप्त होण्यासाठी किती ऊर्जा वापरली गेली ते समजते. बोरच्या उपपत्तीचे हे आधारतत्व आमच्या निष्कर्षाशी पूर्णपणे जुळते. कमी वेगवान ऋणकणांच्या प्रत्यास्थ आघातांच्या अभ्यासावरून असे दिसते की, या आघातामध्ये अंतर्गत ऊर्जेच्या रूपाने अणुऊर्जेचा स्वीकार करीत नाही आणि सर्वात जास्त तरंगलांबीची शोषणरेषा उत्तेजित होण्यासाठी लागणारे ऊर्जा परिमाण किंवा ऊर्जा क्वांटम् पहिल्या चिकित्सक ऊर्जा पातळीच्या समीकरणाने मिळते."

हर्टझने यानंतर जर्मन भाषेत आपल्या संशोधनाची माहिती दिली. बोरच्या अणुरचनेविषयीच्या उपपत्तीच्या दृष्टिकोनातून त्याने जे प्रयोग केले, त्यांची माहिती व महत्त्व त्याने आपल्या व्याख्यानात सांगितले. त्या व्याख्यानाचा काही भाग पुढे दिले आहे.

"ऋणकण आघातांचा अभ्यास करण्याच्या पद्धतीने केलेल्या संशोधनाचे निष्कर्ष बोरच्या अणुरचनेविषयीच्या उपपत्तीस प्रायोगिक पुरावा मिळवून देण्याच्या दृष्टीने महत्त्वाचे ठरले. प्रयोगावरून काढलेल्या निष्कर्षांचा मी थोडक्यात आढावा घेणार आहे, आणि बोरच्या अणुरचनेविषयीच्या उपपत्तीच्या आधारे विचार केल्यास, ज्या गोष्टी अपेक्षित आहेत त्या गोष्टी व माझे निष्कर्ष किती जुळते आहेत हे सांगणार आहे.

विद्युतचुंबकीय विकिरण आणि अणू यांच्यामध्ये ऊर्जेची देवघेव होऊ शकते हे समजून आल्याने अभिजात भौतिकीशास्त्रात अेक महत्त्वाचा निष्कर्ष हाती आला. अणूमध्ये गती असलेले विद्युतभारवाही कण असायला पाहिजेत. या विद्युत भारवाही कणांच्या आंदोलनामुळे प्रकाशउत्सर्जन होते. त्याउलट प्रकाशशोषण झाल्यास, अणूवर पडणाऱ्या प्रकाशलहरींनी निर्माण होणाऱ्या विद्युतक्षेत्रामुळे अणूतील विद्युतभारतवाही कणाचे आंदोलन होत असते. अणूच्या वर्णपटातील रेषा चुंबकीय क्षेत्रामुळे दुभंगतात व मुळच्या अेका रेषेच्या जागी अनेक रेषा दिसू लागतात, या झीमन परिणामाचे विवेचन करणाऱ्या लॉरेन्टझ उपपत्तीप्रमाणे,

अणुतील गती दिलेले किंवा असलेले विद्युतभारवाही कण, वेगाने धावणारे ऋणकण असावेत. हे वेगवान ऋणकण कॅथोड किरण या नावाने आपल्याला ज्ञात आहेत. जर प्रत्येक प्रकारच्या अणूपासून वर्णपटात अेक किंवा त्याहून अधिक रेषा मिळत असतील तर वर्णपटातील प्रत्येक रेषा देणारा, संबंधित वारंवारतेचा ऋणकण अणूमध्ये असतो असे समजायला हरकत नव्हती. परंतु अणुपासून वर्णपटात अनेक अक्षरश: मोजायला कठीण जाते इतक्या अनंत रेषा मिळतात. या रेषा अणूच्या वर्णपटात कोठेतरी व कशा तरी विखुरल्या असतात असे नाही. त्या रेषांच्या वारंवारतेत काही ठराविक नियमबद्धता आढळते. पण ती नियमबद्धता परंपरागत भौतिकीशास्त्रातील नियमांच्या आधारे चटकन सांगता येत नाही. या ठिकाणी बोरची अणुरचनेविषयीची उपपत्ती उपयोगी पडते. अणुरचना व प्रकाशउत्सर्जन या प्रश्नांची उकल करण्यासाठी त्याने प्लँकची क्वांटम उपपत्ती वापरली, व हे करताना त्या उपपत्तीस आणखी काही भर टाकली. उष्णताप्रारणाचा नियम मांड-ताना बोर अशा निष्कर्षाप्रत आला की प्रकाशाचे उत्सर्जन व शोषण या प्रक्रिया अभिजात यंत्रशास्त्र व विद्युतगतिक शास्त्र यातील नियमाना धरून होत नाहीत. अेकवर्ण विकरणांचे उत्सर्जन व शोषण या प्रक्रिया त्या विकिरणांच्या वारंवारते-इतकी वारंवारता असलेल्या वैद्युती ऑस्सिलेटर (आंदोलक) कडूनच होणे शक्य आहे हे प्लँकच्या उपपत्तीचे आधारतत्त्व असले तरी या प्रक्रियाशी संबंधीत ऊर्जेचे शोषण किंवा उत्सर्जन काही ठराविक पूर्ण परिमाणात किंवा क्वांटामध्ये होत असते असे प्लँकचे म्हणणे आहे. प्लँकच्या म्हणण्याप्रमाणे अशा क्वांटमचे मूल्य विकिरणाच्या वारंवारतेच्या प्रमाणात असते. यातील प्रमाणत्वाचा स्थिरांक, प्लँकचा स्थिरांक म्हणून ओळखतात, व त्याचे मूल्य ६.५५×१०^{-२७} अर्ग सेकंद असते. या स्थिरांकाने प्लँकच्या व बोरच्या उपपत्तीत खूपच महत्त्वाची कामगिरी बजावली आहे. रेषा वर्णपटाच्या नियमांचे स्पष्टीकरण द्यायचे असल्यास, विकिर-णाचे उत्सर्जन व शोषण आंदोलन पावणाऱ्या ऋणकणामुळे होत असते ही कल्पना सोडून देणे भाग आहे हे बोरने ओळखले व प्रकाशतरंगांची वारंवारता व ऋणकण आंदोलनांची वारंवारता यांचा काही संबंध आहे या कल्पनेचाही त्याने त्याग केला. त्या साध्या कल्पनेअैवजी उत्सर्जित किंवा शोषण केलेल्या ऊर्जेचे क्वांटा आणि विकिरणांची वारंवारता यामध्ये मूलभूत परस्परसंबंध आहे असे धरून, त्याने अणुरचनेविषयीच्या उपपत्तीची तीन आधारतत्त्वे मांडली. ती आधारतत्त्वे पुढे दिल्याप्रमाणे आहेत

१) प्रत्येक अणूला स्वतंत्र स्थिरस्थितींच्या अनंत मालिका असणे शक्य आहे. यातील प्रत्येक स्थिरस्थितीला अणूची अंतर्गत ऊर्जा ठराविक व स्वतंत्रपणे

वेगळी असते. या स्थिरस्थितीत अणू असल्यास, त्यामधून विकिरणाचे उत्सर्जन होत नाही.

२) अणू अेका स्थिरस्थितीतून दुसऱ्या स्थिरस्थितीत गेला तर या बदलामुळे विकिरण उत्सर्जन किंवा विकिरणशोषण होत असते. जास्त ऊर्जा असलेल्या स्थितीतून, अणू कमी उर्जा असलेल्या स्थितीमध्ये आला तर विकिरण उत्सर्जन होते. त्याउलट कमी ऊर्जा असलेल्या स्थितीतून अणू जास्त ऊर्जा असलेल्या स्थितीमध्ये गेला तर विकिरणांचे शोषण होते.

३) उत्सर्जन झालेल्या किंवा शोषण झालेल्या विकिरणांची वारंवारता

$$h\nu = E_2 - E_1$$

या समीकरणाने मिळते. यात h हा प्लँकचा स्थिरांक, ν ही विकिरणांची वारंवारता आणि E_2 व E_1 ही अणूच्या स्थिरस्थिती ऊर्जा आहेत. E_1 – प्रथम स्थिर स्थिती ऊर्जा व E_2 व्दितीय किंवा अंतिम स्थिरस्थिती ऊर्जा होत.

या तीन आधारतत्त्वांच्या जोडीला इतर आधारतत्त्वे नंतर मांडण्यात आली. अणूमध्ये ऋणकण अणुकेन्द्राभोवती कसा फिरतो हे या इतर आधारतत्त्वात सांगितले आहे. धनविद्युतभार असलेल्या अणुगर्भ व त्या धनविद्युतभाराचे उदासीनीकरण करू शकतील इतके ऋणकण अणुगर्भाबाहेरच्या जागेत त्याभोवती फिरतात असे अणुरचनेचे साधे व सोपे चित्र रदरफोर्डने मांडले होते. त्या कल्पनेला धरूनच बोरने अणुरचनेचा तपशील मांडला आहे. दोन्ही अणुरचनेत फरक इतकाच की रदरफोर्डने ऋणकणांची वेगवेगळ्या कक्षात विभागणी केली नाही तर बोरने अणुगर्भाभोवतालचे ऋणकण निरनिराळ्या कक्षात वाटून दिले आहेत, आणि त्यावरून अणूच्या स्थिरस्थितीची कल्पना मांडली आहे. अणूला शक्य असलेल्या सर्व स्थिरस्थितीतून तो कोणत्या स्थिरस्थितीत असावा हे त्याने स्थितीविषयक समीकरणावरून ठरविले. याही समीकरणात प्लँकच्या स्थिरांकाचा प्रयोग केला आहे.

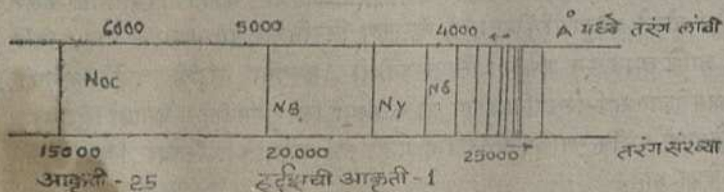
अणूमधील ऋणकण कसे फिरत राहावेत व त्यानी आपली कक्षा कशा बदलाव्या या विषयीचे नियम हा बोरच्या उपपत्तीचा मुख्य भाग आहे. अणुविषयीची औष्णिक व वैद्युती माहिती गोळा केल्यावर, त्या माहितीवरून बोरच्या

नियमांच्या आधारे राईड्बर्ग स्थिरांकाचे मूल्य ठरविता येते. तसेच मूलतत्वाचे आवर्तनसारणीत अमूकच स्थान का हे सांगता येते. ते कसे सांगता येते हे येथ विस्तारपूर्वक सांगितले नाही तरी चालेल. ऋणकण आघाताविषयीच्या प्रयोगात अेक गोष्ट विशेष महत्वाची आहे. वर्णपटातील रेषामालिकाशी संबंधित अशी अणूची स्थिरस्थितीमालिका, असे दाखवते की अणू व ऋणकण यामध्ये असणारा बंध क्रमाक्रमाने कमजोर होत जातो, व शेवटी ऋणकण अणूपासून संपूर्णपणे दूर होतो. त्याबरोबर असेही दिसते की अेकापाठोपाठ दुसरी व दुसरी पाठोपाठ तिसरी अशाक्रमाने येणाऱ्या अणूच्या स्थिरस्थिती ऊर्जातील फरक क्रमाक्रमाने कमी होत जातो.

अणूंच्या वर्णपटातील सर्वात सोपा वर्णपट हायड्रोजनचा आहे. तो आपण प्रथमतः विचारासाठी घेऊ. या वर्णपटातील साऱ्या रेषांची वारंवारता पुढे दिलेल्या सूत्राच्या सहाय्याने अचूक सांगता येते.

$$v = R\left(\frac{1}{m_2} - \frac{1}{n_2}\right)$$

या सूत्रात v = वारंवारता, R= राइडबर्गचा स्थिरांक, आणि m व n हे पूर्णांक आहेत. यात m ला स्थिरमूल्य असते आणि n चे मूल्य m + 1 पासून अनंतापर्यंन्त बदलता येते. m = 2 असे धरून, n ची मूल्ये या सूत्रात वापरली तर आपल्याला हायड्रोजनच्या वर्णपटातील 'बामर' मालिका मिळते. ही मालिका सोबतच्या आकृतीत दांखविली आहे.



आकृती - 25

[हायड्रोजनच्या वर्णपटातील बामर मालिका
खालच्या अक्षावर तरंगसंख्येमध्ये वारंवारता (ν)
किंवा एका सेन्टीमीटर मधील तरंगसंख्या दिली आहे.
वरील अक्षावर त्या संख्येशी अनुरुप तरंगलांबी (λ)
ॲन्गस्ट्रॉम मध्ये दिली आहे.

['बामर' मालिका हायड्रोजनच्या वर्णपटात मिळते. आकृतीच्या खालील बाजूला वारंवारता तरंगसंख्येने दाखवली आहे. तरंगसंख्या म्हणजे अेक सेन्टीमीटर लांबीतील तरंगांची संख्या. आकृतीच्या वरच्या बाजूला रेषांची तरंगलांबी अँगस्ट्रॉम (A^o) मध्ये दिली आहे. अँगस्ट्रॉम = $१०^{-८}$ सेन्टीमीटर] *

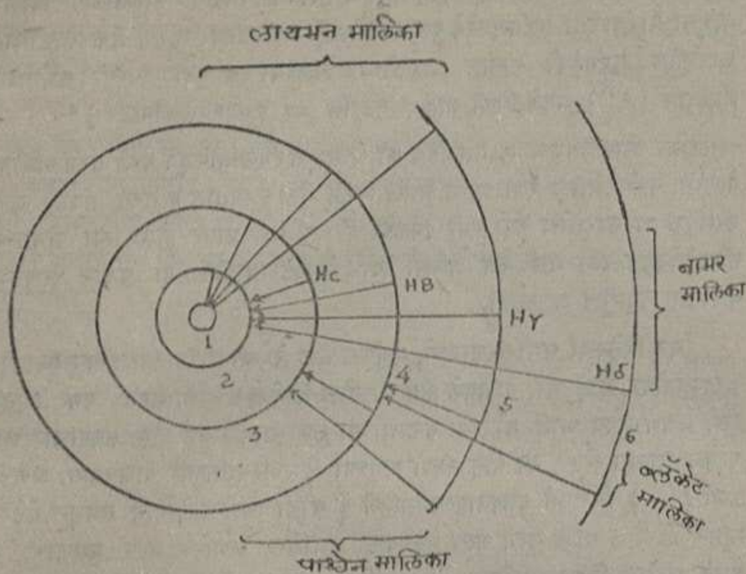
या आकृतीवरून लक्षात येईल की जास्त तरंगलांबीकडून कमी तरंगलांबीकडे गेल्यास, वर्णपटातील रेषा जास्त जास्त जवळ येऊ लागतात व सरते शेवटी अेका ठराविक वारंवारतेला त्या रेषा मिळण्याची सीमा प्राप्त होते. त्या शेवटच्या सीमारेषेनंतर, त्या मालिकेत आणखी रेषा मिळत नाहीत. हा प्रकार अणूच्या वर्णपटात नेहमीच आढळतो.

वर दिलेल्या समीकरणामध्ये, वर्णपटातील रेषेची वारंवारता दोन संख्यातील फरकाबरोबर आहे असे दाखवले आहे. यातील प्रत्येक संख्येला अनंत पण स्वतंत्र मूल्ये असणे शक्य आहे. बोरच्या उपपत्तीच्या सहाय्याने या दोन संख्यांचा अर्थ चटकन लावता येतो. या दोन संख्या अणूच्या स्थिरस्थितीऊर्जा दाखवतात. अणूची ऊर्जा (–) चिन्हाने दाखवायला पाहिजे हे थोडा विचार केल्यास समजून येईल. म्हणजे m व n यांचे मूल्य अल्प असल्यास, संबंधित ऊर्जाही अल्प असणार, व जास्त ऊर्जेच्या स्थिरस्थितीतून अेकाच अंतिम कमी ऊर्जेच्या स्थिरस्थितीला अणू आल्याने अणूच्या वर्णपटातील रेषांची मालिका मिळते असे दिसून येते. हायड्रोजन अणूच्या पहिल्या स्थिरस्थितीमध्ये, अशा तऱ्हेचे फरक झाल्याने मिळणाऱ्या रेषांचा निर्देश सोबतच्या आकृतीत केला आहे.

इतर मूलतत्त्वांच्या बाबतीत वर्णपटातील रेषा आणि अणुगर्भाभोवतालच्या निरनिराळ्या कक्षातील ऋणकण यामधील संबंध जास्त जटिल आहेत. हायड्रो–जनचा वर्णपट व इतर मूलतत्त्वांचे वर्णपट यात अेक गोष्ट समाईक आहे. रिट्झ संयोग तत्त्वाला धरून, वर्णपटातील रेषांची वारंवारता दोन भिन्न संख्यातील फरकाएवढी आहे असे इतर मूलतत्त्वांच्या बाबतीतही दाखवता येते. हायड्रोजनच्या वर्णपटातील रेषामालिका R/n^2 या सूत्राने दाखवता येतात.

---

* उदाहरणार्थ हायड्रोजनच्या वर्णपटातील प्रथमरेषेची ($H\infty$ ची) वार–वारता (ν) राईडबर्गचा स्थिरांक १०९६७८ से. मी. $^{-1}$, m = २, n = ३ असे धरून वरचे समीकरण वापरल्यास मिळते. ती १५२३३ से.मी. $^{-1}$ इतकी येते. $\lambda = \frac{1}{\nu}$ असल्याने त्या वारंवारतेची तरंगलांबी = $१०^८/\nu$ अँगस्ट्राम = ६५६३ अँगस्ट्राम.



आकृती - 26   हर्ट्झची आकृती - 2

[लायमन मालिका (m=1) बामर मालिका (m=2)
पाश्चेन मालिका (m=3) आणि ब्रॅकेट मालिका (m=4)
निर्माण करणारी ऋणकण संक्रमणे हायड्रोजनच्या
बोर कक्षात दाखविली आहेत. पहिली मालिका
नीलातीत भागात तर शेवटची रक्तपूर्व भागात असते]

इतर मूलतत्त्वांच्या वर्णपटातील रेषामालिकासुद्धा त्याच सूत्राने दाखवता येतात. फक्त हायड्रोजनच्या बाबतीत वापरतो त्यापेक्षा इतर मूलतत्त्वांच्या बाबतीत जास्त जटिल सूत्र वापरावे लागते. n चे मूल्य वाढत जाते त्याप्रमाणे समीकरणात वापरायच्या अेकामागून अेक संख्यातील फरक कमी कमी होत जातो. वर्णपटातील रेषा जास्त जवळ येऊ लागतात. व वर्णपटातील रेषांची सीमा ठरून जाते. ही सीमारेषा मिळते त्यावेळी n चे मूल्य अनंत असल्याने R/n^2 चे मूल्य शून्याइतके असते. ही गोष्ट हायड्रोजनच्या व इतर मूलतत्त्वांच्या वर्णपटात सारखीच दिसून येते. उदाहरणादाखल सोडियमचा वर्णपट आलेखरूपाने सोबतच्या आकृतीत दाखवला आहे. निरनिराळ्या संख्यांची मूल्ये आकृतीत छोट्याशा आडव्या रेषांनी दाखवली आहेत. व त्या संख्यांचा क्रम तेथेच लिहिला आहे.

संख्येचे मूल्य आकृतीत वरून खालच्या दिशेने जाताना वाढत जाते व वरच्या आडव्या अक्षापासून, संख्या दाखवणाऱ्या बिंदूपर्यंतचे अंतर संख्येचे मूल्य दाखवते.

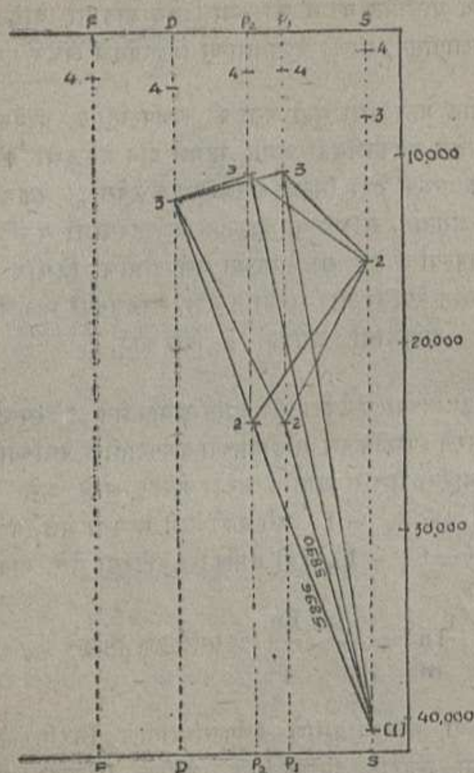
यातील महत्त्वाचा मुद्दा असा की वर्णपटातील प्रत्येक रेषेची वारंवारता दोन संख्यातील फरकाअेवढी असते. म्हणजे दोन वेगळ्या संख्या अेकत्र आणल्याने वर्णपटातील प्रत्येक रेषा मिळत असते. प्रत्येक रेषेसाठी अेकत्र आणायच्या संख्या मात्र भिन्न असतात. सोबतच्या आकृतीत वर्णपटरेषाशी संबंधित संख्या सरळरेषानी जोडून दाखवल्या आहेत. सोडीयमच्या वर्णपटाचाच विचार या आकृतीत केला आहे. आकृतीत रेषांची वारंवारता न देता, तरंगसंख्या म्हणजे एक सेन्टीमीटर-मध्ये किती तरंगलांबी असतात ते दिले आहे.

हायड्रोजनच्या वर्णपटातील रेषांच्या बाबतीत जे स्पष्टीकरण दिले जाते, तशाच प्रकारचे स्पष्टीकरण सोडीयमच्या वर्णपटातील रेषांच्या बाबतीत देता येते. रेषेची वारंवारता दोन संख्यातील फरका अेवढी आहे असे याही वेळी म्हणता येते, म्हणजे $v = T_1 - T_2$ असे याही वेळी म्हणता येते, व बोरचे वारंवारते-विषयीचे $hv = E_2 - E_1$ हेही समीकरण वापरता येते. यावरून आपल्याला

$$Tn = -\frac{En}{h}$$ हे समीकरण मिळते.

बोरच्या म्हणण्याप्रमाणे वर्णपटसंख्यातील निरनिराळ्या संख्या, अणूची निरनिराळ्या स्थिरस्थितीतील ऊर्जा भागिले प्लँकचा स्थिरांक व आलेला भागाकार (–) चिन्हाने दाखवायचा याबरोबर असतात. यात ऊर्जा दाखव-णाऱ्या संख्येआधी (–) चिन्ह मुद्दाम दाखवतात. अणूच्या स्थिरस्थिती ऊर्जा-संख्येस काही ठराविक ऊर्जा नेहमीच मिळवायची असते. ती तशी मिळवली नाही हे दर्शविण्यासाठी ऊर्जासंख्येच्या अगोदर (–) चिन्ह मांडतात. वर्णपटातील रेषांचा संबंध ऊर्जा फरकाशी असल्याने स्थिरस्थिती ऊर्जा दाखवणाऱ्या संख्येच्या अगोदर मांडलेल्या (–) चिन्हाने काहीही बिघडत नाही. आकृतीत संख्यांची मूल्ये वरून खाली येताना वाढत असल्याचे दाखवले आहे. त्याशी संबंधित ऊर्जा खालून वर वाढत जाते हेही त्या आकृतीवरून लक्षात येईल. अणू निरनिराळ्या स्थितीमध्ये कोणत्या ऊर्जा पातळ्यावर राहू शकतो हे या आकृतीवरून आपल्याला समजू शकते.

– – – – –



आकृती - 27 हर्ट्झची आकृती - ४

[सोडीयम विषयीच्या पद योजनेचा काही भाग.
वर्णपटातील कोणत्याही रेषेची तरंग संख्या उदाहरणार्थ $1S$ ला $2P_2$ ला जोडणाऱ्या रेषेने दाखवलेल्या रेषेची तरंग संख्या ही आलेखाच्या उजव्या बाजूच्या अक्षावर तदनुरुप तरंगसंख्येतील फरकाबरोबर असते.
$(1S - 2P_2)$ या रेषेकरिता हा फरक जवळजवळ 17000 इतका येतो. (तक्ता ६ पाहा) ही आकृती अदमासे प्रमाणात काढली आहे. या आकृतीत दाखवलेल्या दोन तरंग लांब्या, सोडियमच्या वर्णपटातील D_1 व D_2 या रेषांच्या आहेत, व या रेषा सोडीयमच्या वर्ण-पटाच्या पिवळ्या भागात मिळतात.]

(सोडीयमसंबंधीच्या काही रेषा. वर्णपटातील कोणत्याही अेका रेषेची वारंवारता, सरळ तिरप्या रेषेने जोडलेल्या दोन संख्यातील फरकाअेवढी असते. $1S$ व $_2P_2$ या दोन संख्यातील फरक जवळ जवळ १७००० इतका आहे $1S$ व $_2P_2$ या संख्यांच्या मूल्यावरून सहज लक्षात येईल. आकृतीत सोडीयमच्या D_1 व D_2 या रेषांची वारंवारता दाखवली आहे.)

रेषावर्णपटाशी संबंधित संख्या व निरनिराळ्या स्थिरस्थितीमधील अणूची ऊर्जा यांच्यामधील परस्परसंबंध हे बोरच्या उपपत्तीचे प्रमुख व मूलभूत आधार–तत्त्व आहे. अणूवर ॠणकण आदळल्यावर, ॠणकणाची ऊर्जा किती प्रमाणात अणूला मिळते हे मोजता येत असल्याने ॠणकण–आघात पद्धत अणूरचना शोधून काढण्यासाठी वापरता येण्याची शक्यता जास्त आहे. शिवाय अणूला काही ठराविक ऊर्जा दिल्यानंतर, कोणत्या घटना घडून येतात याचाही अभ्यास या पद्धतीत करता येतो. ठराविक वेग असलेले ॠणकण अणूवर आदळल्यावर काय होईल याबद्दल बोर उपपत्ती काय अपेक्षिते हे प्रथमतः समजावून घेतले पाहिजे. ॠणकण अणूवर आदळल्यावर, अणूला ऊर्जाप्राप्ती होत असेल तर अशा आघा–तामुळे भूमीतळ ऊर्जास्थितीत असलेला अणू, जास्त ऊर्जा असलेल्या स्थिरस्थितीत जाईल. म्हणून ॠणकणाच्या आघाताद्वारे अणूला काही ठराविक ऊर्जा देता येईल. शिवाय अणूला देण्यात आलेली ऊर्जा, त्याला काही ठराविक उत्तेजित स्थितीत आणण्यासाठी लागणाऱ्या कार्याइतकी असेल. ॠणकण आघाताद्वारे अणूला देण्यात आलेली ऊर्जा किती असेल हे वर्णपटरेषामालिकावरून काढता येईल.

अणूच्या विविध उत्तेजित स्थितीमध्ये अशी अेक उत्तेजित स्थिती असते की जीमध्ये उत्तेजनीकरणासाठी लागणारे कार्य सर्वात अल्प असते. अशावेळी अणूच्या उत्तेजनीकरणासाठी करावे लागणारे कार्य, ॠणकण आघातामुळे अणूला मिळ–णाऱ्या अल्पतम ऊर्जेइतके असते. अणूवर आदळणाऱ्या ॠणकणांची ऊर्जा ज्यावेळी या अल्पतम उत्तेजनीकरण कार्याहून कमी असते, तोपर्यंत ॠणकण अणूवर आदळल्यावर, अणूला ॠणकणाकडून ऊर्जा मिळत नाही व ॠणकणाचा अणूवर होणारा आघात संपूर्णपणे प्रत्यास्थ असतो. ॠणकण अणूवर आदळल्यावर, त्याची फार थोडी ऊर्जा अणूला मिळते व अणूला प्राप्त झालेल्या त्या ऊर्जेमुळे अणूला गती मिळते म्हणजे अणूला प्राप्त झालेल्या ऊर्जेचे अणूच्या गतिक ऊर्जेत रूपांतर होते. परंतु ज्यावेळी ॠणकणांची ऊर्जा, अल्पतम उत्तेजनीकरण ऊर्जेहून जास्त

असते, त्यावेळी अणूला ऋणकणाकडून ऊर्जा मिळते व अणू प्रथम उत्तेजित स्थितीत जातो. जर ऋणकणांची ऊर्जा याही पलिकडे अस्ते अस्ते वाढवत नेली व जास्त ऊर्जेशी संबंधित अशा वरच्या उत्तेजित स्थितीला पोचण्यास आवश्यक त्या उत्ते-जनीकरण कार्याहून ती जास्त झाली तर ऋणकण अणूवर आदळल्यावर वरच्या उत्तेजित स्थितीशी संबंधित अेवढी ऊर्जा अणूला ऋणकणाकडून त्याच्या आघाता-बरोबर मिळेल. सरतेशेवटी आयनीकरण कार्याइतकी ऋणकणांची ऊर्जा असेल तर ऋणकण अणूवर आदळल्यावर, अणूतून अेक ऋणकण बाहेर पडेल व मागे धनविद्युतभारवाही धन आयन राहील.

वर उल्लेखिलेल्या प्रक्रियांचे प्रायोगिक संशोधन करीत असता, काही ठराविक विभवफरक ठेवून, ऋणकणांची गती वाढवण्यात येते, आणि ऋणकण अणूवर आदळल्यावर त्याची ऊर्जा किती आहे, हे त्या ऋणकणाना किती विभव-फरकावर मात करता येते यावरुन ठरवता येते. अशा रीतीने ठराविक उत्तेजित स्थिती पोचण्यासाठी लागणारे उत्तेजनीकरण कार्य मोजण्याअैवजी, शून्य प्राथमिक गती असलेल्या ऋणकणाला किती विभवफरकातून जाऊ दिले तर त्याची ऊर्जा उत्तेजनीकरण कार्याइतकी होते, तो विभवफरक आपण मोजतो. त्याचप्रमाणे आयनीकरण विभवाचा आयनीकरण कार्याशी संबंध आहे. तेव्हा ऋणकण आघात-प्रयोगांचे उद्दिष्ट उत्तेजनीकरण व आयनीकरण विभव मोजणे हे आहे. यासाठी वापरायच्या पद्धती तीन प्रकारच्याआहेत. लेनार्डची पद्धत ही पहिल्या प्रकारची पद्धत आहे आणि आम्ही वापरलेली पद्धत दुसऱ्या प्रकारात मोडण्यासारखी आहे.

– – – –

वर्णपटातील रेषामालिकावरून गणिताने काढलेली उत्तेजनीकरण व आयनी-करण विद्युतविभवे व प्रयोगानी ठरवलेली उत्तेजनीकरण व आयनीकरण विद्युत-विभवे यांची तुलना केल्यास, त्या दोहोमध्ये किती अेकता आहे हे समजून येते. अल्कली धातूंच्या बाबतीत ही अेकता चांगल्याच प्रकारची आहे. सोबतच्या आकृ-तीत सोडीयमच्या बाबतीत रेषामालिकांच्या विषयी काय निष्कर्ष निघतात ते दाखवले आहे. अल्कली धातुगटातील इतर मूलतत्त्वांच्या बाबतीत अशाच प्रकारचे निष्कर्ष निघतील. भूमीतलऊर्जा १ S या संज्ञेने दाखवली आहे. १ S पासून जास्त ऊर्जा दर्शविणाऱ्या इतर संज्ञाकडे जाताना आपल्याला २P, आणि २ P_2 या दोन संज्ञा प्रथमतः दिसतात. २ P, व २ P_2 या संज्ञांशी संबंधित ऊर्जामध्ये फार थोडा फरक आहे.

या संज्ञाशी संबंधित स्थिरस्थितीतून नेहमीच्या सामान्य स्थिरस्थितीला किंवा भूमीतल स्थितीला अणू आल्यास संस्पंदन रेषा या नावाने ओळखल्या जाणाऱ्या रेषांचे उत्सर्जन होते. सर्वांना ज्ञात असलेल्या पिवळ्या सोडीयम रेषेच्या दोन घटक रेषा आहेत. या दोन घटक रेषांना संस्पंदनरेषा म्हणतात, कारण या रेषाशी संबंधित विकिरणांचे शोषण अणूने केल्यावर त्यास जी उत्तेजित स्थिती प्राप्त होते त्या उत्तेजित स्थितीतून नेहमीच्या सामान्य स्थितीला किंवा भूमीतल स्थिरस्थितीला अणू आल्यास, उत्तेजित होताना शोषण केलेली सर्व उर्जा, त्या दोन पीतरेषांच्या वारंवारतेइतकीच वारंवारता असलेल्या विकिरणांच्या रूपाने उत्सर्जित होते. म्हणजे या विशिष्ट वारंवारतेच्या विकिरणांच्या बाबतीत अणू ही विशिष्ट वारंवारता असणाऱ्या अेखाद्या वैद्युती ऑक्सिलेटरचे कार्य करीत असतो.

अल्कली धातूचे प्रथम उत्तेजनीकरण वैद्युतीविभव, त्याच्या अणूचे भूमीतल विभव व त्यावरचे अगदी जवळचे विभव यांच्यामधील फरकावरून आम्ही ठरविले. अेवढेच नाही तर वारंवारतेविषयीचे बोर समीकरण वापरून त्या धातूच्या संस्पंदन रेषेच्या वारंवारतेवरूनही काढले. बोरचे या विषयीचे समीकरण

$V_a \times e = h\nu r$ असे आहे. यात e हा ऋणकणावरचा विद्युतभार आहे, व V_a आणि νr ही अनुक्रमे धातूचे प्रथम उत्तेजनीकरणविभव आणि संस्पंदनरेषेची वारंवारता आहेत. h म्हणजे प्लँकचा स्थिरांक हे या आधी सांगितले आहेच. या समीकरणावरून असे दिसते की प्रथम उत्तेजनीकरणानंतर ऋणकणाचा आघात झाल्यास, संस्पंदनरेषेचे उत्सर्जन व्हायला पाहिजे. म्हणून प्रथम उत्तेजनीकरण विभवाला संस्पंदन विभव अशी संज्ञा वापरली आहे. त्याबरोबर हेही नमूद केले पाहिजे की फक्त अल्कली धातूंच्या बाबतीतच संस्पंदन विभव प्रथम उत्तेजनीकरण विभवाइतके असते.

खाली दिलेल्या तक्त्यात, सोडीयम या अल्कली धातुविषयीचा वर्णपट–तपशील म्हणजे वारंवारता व तरंगलांबी दिली आहेत. यावरून बोरच्या उपपत्तीच्या सहाय्याने आयनीकरण व संस्पंदनविभव गणिताने काढले आहे. ऋणकणआघातांच्या अभ्यासावरून ठरवलेली आयनीकरण व संस्पंदनविभवेही दिली असून, त्यांची गणिती मूल्ये व प्रायोगिक मूल्ये यामध्ये तुलना केल्यास

त्यामध्ये इतकी अेकरूपता आढळते की बोरच्या उपपत्तीच्या सहाय्याने गणिताने काढलेली मूल्ये व प्रायोगिक मूल्ये अेकच होत असे म्हणायला हरकत नाही.

तक्ता

सोडीयम (Na) अणुक्रमांक ११

	वारंवारता v	तरंगलांबी (A⁰) × १०⁸ सेन्टीमीटर	व्होल्ट	
			गणिती मूल्य	प्रायोगिक मूल्य
			**	५·१३
IS	४१४४८·५९		५·११६	५·१८
$IS-{}_2P_2$	१६९५५·८८	५८९५·८	} २·०९३ §	२·१२
$IS-{}_2P_1$	१६९७३·५२	५८८९·९	}	२·१३

** ५·११६ इलेक्ट्रॉन व्होल्ट अेककात मांडलेले हे ऊर्जेचे मूल्य. इतकी ऊर्जा अणूला दिल्यास, अणूच्या भूमीतल स्थिर परिस्थितीत (IS मध्ये) असलेला ऋणकण, अणूपासून संपूर्णपणे अलग करता येतो.

§ २·०९३ इलेक्ट्रॉन व्होल्ट इतकी ऊर्जा अणूला दिल्यास, अणूच्या भूमीतल स्थिरपरिस्थितीत (IS मध्ये) असलेला ऋणकण प्रथम उत्तेजित स्थितीत म्हणजे ${}_2P_1$ किंवा ${}_2P_2$ मध्ये जातो.

यानंतर रेणूंच्या विचरणाविषयी फ्रँकने महत्त्वाचे संशोधन केले आहे. रेणूंच्या वर्णपटातील पट्ट्यांच्या अभ्यासावरून त्याने रेणूचे विचरण किती ऊर्जेला होते हे शोधून काढले. भौतिकी रसायनशास्त्रात रूढ असलेल्या औष्णिक पद्धतींच्या सहाय्याने ठरविलेल्या रेणुविचरणमूल्यापेक्षा फ्रँकने ठरविलेली मूल्ये जास्त अचूक होती. बर्लिन टेक्निकल विद्यापीठात भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक म्हणून कार्य करीत असता, हर्टझने निऑनचे अेकस्थानी परस्परापासून अलग करण्याकरिता वायु-विकरणाची पद्धत बसविली. हीच वायुविकरण पद्धत वापरून हायड्रोजनचे दोन अेकस्थानी (अेक व दोन या अणूभाराचे) परस्परापासून अलग करण्यात

आले. हर्टझच्या वायुविकरण पद्धतीने मिळवलेला जड हायड्रोजन चांगलाच शुद्ध होता व त्यात अेक अणुभाराच्या हायड्रोजनची अशुद्धता नव्हती.

संशोधनाचे परिणाम

बोरच्या उपपत्तीस संपूर्ण पाठिंबा मिळाला या अेका गोष्टीतच फ्रँक व हर्टझ यांच्या संशोधनाचे महत्त्व सामावले आहे. अणूच्या स्थिरस्थितीविषयी बोरने केलेली अनुमाने, बरोबर असल्याचे फ्रँक व हर्टझ यानी प्रायोगिक पुराव्याने सिद्ध केले. त्याबरोबर प्लँकच्या h या स्थिरांकाचे मूल्य प्रयोगाने अचूक ठरविण्याची अेक नवी पद्धत त्यानी भौतिकीशास्त्रज्ञास उपलब्ध करून दिली.

१९२६

जिआं पेरिन
(१८७० – १९४२)

" वस्तुमात्राच्या असतत रचनेविषयीच्या संशोधनाबद्दल व त्यातल्या त्यात अवसादनाच्या समतोलाचा शोध लावल्याबद्दल नोबेल पारितोषिक "

चरित्र

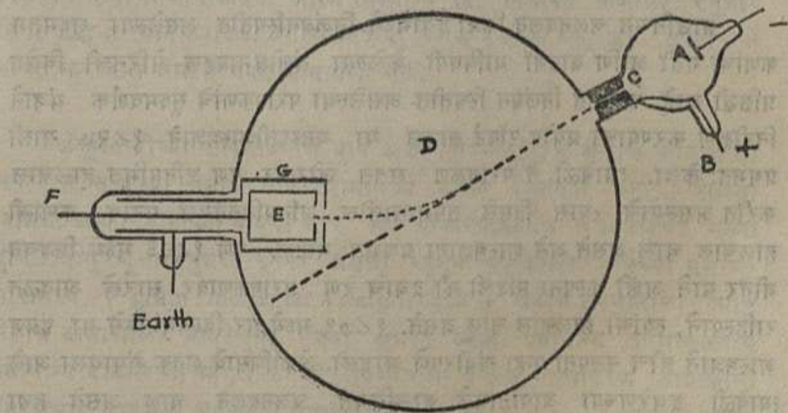
३० सप्टेंबर १८७० रोजी फ्रान्सच्या लिल शहरात जिआं पेरिनचा जन्म झाला. आपले शालेय शिक्षण या शहरातील शाळेमध्ये पुरे केल्यानंतर त्याने पॅरीसमधील अिकोल नॉर्मल सुपिरिअर या विद्यालयात शिक्षक होण्याच्या दृष्टीने शिक्षण घेतले. त्याच विद्यालयात त्याने १८९४ ते १८९७ ही तीन वर्षे शिक्षक म्हणून काम केले. १८९७ मध्ये पॅरीस विद्यापीठाची डी. अेस्‌सी पदवी संपादन केल्यानंतर, वैज्ञानिक रसायनशास्त्र या विषयाचा अध्यापक म्हणून त्यास पॅरिस विद्यापीठात नेमण्यात आले. तेरा वर्षानंतर १९१० मध्ये त्यास वैज्ञानिक रसायनशास्त्राचा प्राध्यापक नेमण्यात आले. तेव्हापासून १९४० पर्यंत त्याने त्याच विद्यापीठात आपले प्राध्यापकीय जीवन व्यतित केले. फक्त महायुद्ध काळातील १९१४ ते १९१८ ही चार वर्षे त्याने सैन्याच्या आभियांत्रिकीविभागात काम केले. १७ जुलै १९४२ रोजी तो न्यूयॉर्कमध्ये मृत्यू पावला.

पेरिनला निरनिराळ्या संस्थानी गौरविले आहे. लंडनच्या रॉयल सोसायटीने १८९६ मध्ये त्याला ज्यूल पारितोषिक दिले, व १९१२ मध्ये त्यास आपला परदेशस्थ सभासद निवडले. फ्रेंच अॅकेडमी ऑफ सायन्सेस या संस्थेने १९२३ मध्ये त्यास आपले सभासदत्व बहाल केले. १९३८ मध्ये तो त्या संस्थेचा अध्यक्ष झाला. फ्रेंच सरकारच्या विज्ञानसंशोधन विभागाचा तो १९३८ मध्ये अध्यक्ष म्हणून

निवडून आला. १९२६ मध्ये त्यास कमांडर ऑफ दि लिजन ऑफ ऑनर ही पदवी मिळाली. त्याशिवाय परदेशातील कित्येक विद्यापीठानी त्यास आपली माननीय डॉक्टरेट अर्पण करून, आपली गुणग्राहकता व्यक्त केली आहे. बर्लिन (१९१० मध्ये) न्यूयॉर्क (१९१३ मध्ये), मँचेस्टर (१९१८ मध्ये) व ऑक्सफर्ड (१९२० मध्ये) ही त्यापैकी काही विद्यापीठांची नावे होत.

जिजां पेरिनने कॅथोड किरणाविषयीच्या सुरवातीच्या संशोधनात फार महत्वाचे कार्य केले आहे अशा प्रकारचा उल्लेख सर जे. जे. थॉमसनच्या नोबेल व्याख्यानात आहे. ऋणविद्युतभारवाही कणावर चुंबकीय क्षेत्राचा परिणाम घडवून आणल्यास ते ज्या दिशेला वळावेत असे अपेक्षित आहे, त्याप्रमाणे कॅथोड किरण चुंबकीय क्षेत्रामुळे वळतात असे क्रुक्सने दाखवले होते. परंतु तरीही कॅथोड किरणांचे स्वरूप काय आहे याबद्दल मतभिन्नता होती. इंग्रज भौतिकीशास्त्रज्ञांच्या-मते कॅथोड किरण ऋणविद्युतभारवाही कण असतात तर जर्मन शास्त्रज्ञाना कॅथोड किरण हे काही तरी वेगळ्या प्रकारचे तरंग आहेत असे वाटत होते.

या प्रश्नाचा निकाल लावण्याच्या दृष्टीने पेरिनने १८९५ मध्ये अेक प्रयोग केला. त्या प्रयोगातील उपकरणांची मांडणी सोबतच्या आकृतीत दाखविली आहे.



आकृती - 28
कॅथोड किरणात ऋण विद्युतभारवाही कण असतात हे ज्याच्या सहाय्याने पेरिनने सिध्द केले ते उपकरण.
(जे.जे. थॉमसनने सुधारणा केलेले)

A या कॅथोडपासून निघणारे किरण, कॅथोडसमोरच्या C या अरुंद फटीतून बाहेर पडून D या मोठ्या पात्रात प्रवेश करतात. ते किरण पात्राच्या समोर भिंतीवर किंवा बाजूवर आदळल्यावर, जेथे ते किरण आदळतात तो भाग स्फुरदीप्तीवान होतो. किरण जाण्याचा जो सरळ मार्ग आहे त्या मार्गात येणार नाही अशा तऱ्हेने E हा धातूचा दंडगोल ठेवलेला असतो. E या दंडगोलातून विद्युतप्रवाह बाहेर जाणार नाही किंवा बाहेरून त्याकडे विद्युत प्रवाह येणार नाही अशा तऱ्हेने तो दंडगोल ठेवलेला असतो. शिवाय त्या दंडगोलामध्ये काहीही वैद्युती गडबड होऊ नये यासाठी तो दुसऱ्या अेका G या दंडगोलात ठेवलेला असतो. G या दंडगोलाचे अर्दिग केलेले असते. म्हणजे धातूच्या तारेने तो दंडगोल पृथ्वीच्या पृष्ठभागाला जोडलेला असतो. ज्यावेळी विद्युतविमुक्ती होते त्यावेळी E ला जोड-लेल्या विद्युतमापीवर अल्पसा ऋणविद्युतभार असल्याचे समजते. पण चुंबकीय क्षेत्र कार्यवाहीत आणून, कॅथोड किरण पानातल्या अरुंद फटीवर पडू लागतील अशा तऱ्हेने वळवले, तर विद्युतमापीवर पहिल्यापेक्षा मोठ्या ऋणविद्युतभाराची नोंद होते. या प्रयोगामुळे कॅथोड किरण ऋणविद्युतभारवाही आहेत असे पेरिनने दाखवले.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

ब्राउनियन चलनवलन किंवा द्रवामध्ये निलंबनस्थितीत असलेल्या सूक्ष्मतम कणांची गती आणि वाटणी याविषयी केलेल्या संशोधनाबद्दल पेरिनची विशेष प्रसिद्धी आहे. पाण्यात निलंबन स्थितीत असलेल्या परागकणांचे सूक्ष्मदर्शक यंत्राने निरीक्षण करण्याचा प्रयोग रॉबर्ट ब्राऊन या वनस्पतीशास्त्रज्ञाने १८२७ साली प्रथमतः केला. त्यावेळी ते परागकण सतत जोरदार पण अनियमित हालचाल करीत असल्याचे त्यास दिसले तपमानातील अनियमिततेमुळे पराग कणांची हालचाल चालू असते असे शास्त्रज्ञाना प्रथमतः वाटले. पण १८६३ मध्ये क्रिश्चन वीनर याने अशी कल्पना मांडली की द्रवाचे रेणू परागकणावर सारखे आदळत राहिल्याने, त्यांची हालचाल चालू असते. १८७९ मध्ये सर विल्यम रॅम्से या इंग्रज शास्त्रज्ञाने हीच कल्पना पुन्हा खंबीरपणे मांडली. अेकोणिसावे शतक संपायला आले त्यावेळी द्रवरेणूंच्या आघातामुळे ब्राउनियन चलनवलन चालू असते ह्या वीनर आणि रॅम्से यानी मांडलेल्या कल्पनेला मान्यता मिळाली होती व याच विषयासंबंधी आइन्स्टाइनने १९०५ साली तात्त्विक संशोधन केले होते. याचा उल्लेख आइन्स्टाइनच्या चरित्रात केला आहेच. निलंबनस्थितीत असलेल्या कणाना

वायूना लावण्यात येणारे नियम लावता आले पाहिजेत व ॲव्होगाड्रो अंक ही अेक मोजता येण्यासारखी संख्या असून, निलंबनस्थितीत असलेला कण दुसऱ्या कणावर आदळण्यापूर्वी किती दूर जातो यावरून ॲव्होगाड्रो अंक ठरवता आला पाहिजे असे त्याने सिद्ध केले.

आइन्स्टाइनने केलेल्या तात्त्विक संशोधनाची प्रायोगिक पूर्तता पेरिनने केली. १९०८ मध्ये त्याने या विषयीच्या संशोधनास सुरतात केली. द्रवामध्ये निलंबनस्थितीत असलेले कण वायुविषयक नियम पाळतात व त्यामुळे त्या कणाना खूप मोठ्या आकाराचे रेणू मानले पाहिजेत असे त्याने प्रथमतः सिद्ध केले. त्यानंतर जवळजवळ अेकाच आकाराचे कण तयार करून, ते द्रवामध्ये निलंबित करून, समतोल प्राप्त झाल्यानंतर त्या निलंबनाचा संहतीत द्रवाच्या उंचीप्रमाणे कसा फरक पडतो याचा त्याने अभ्यास केला. हे केल्यानंतर दर घन सेन्टीमीटर मधील निलंबित कणांचीं संख्या मूळच्या अर्ध्याइतकी करण्यासाठी उंचीत काय फरक करायला पाहिजे हे त्याने शोधून काढले. वातावरणातील ऑक्सिजन रेणूंची संहती पहिल्याच्या निम्मी करण्यासाठी पाच किलोमीटर उंचीवर जावे लागते यावरून व निलंबन द्रावणात निलंबीत कणांची संहती मूळच्या निम्मी करण्यासाठी किती उंचीवर जावे लागते. यावरून त्यानें ऑक्सिजन रेणूचा भार या अेककात निलंबीत कणांचा भार काढला, आणि त्यावरून त्या निलंबित कणाचा रेणूभार किती आहे हे त्याने ठरविले. ऑक्सिजनजचा अणुभार सोळा आहे असे धरूनच हे गणित करण्यात आले हे वेगळे सांगायला नको.

ॲव्होगाड्रोच्या उपपत्तीप्रमाणे वायू अकाच तपमानाला व अेकाच दाबाखाली असल्यास, वायूंच्या समान आकारमानामध्ये समान रेणुसंख्या असते. अेखाद्या विशिष्ट आकारमानाच्या वायूचा भार, त्या आकारमानातील वायुरेणूंची संख्या गुणिले वायुरेणूंचा रेणुभार इतका असतो म्हणून कोणत्याही वायुच्या ग्रॅमरेणू-भारामध्ये (gram molecular weight मध्ये) अेकाच तपमानाला आणि अेकाच दाबाखाली वायुरेणूंची संख्या समान असते. प्रसामान्य तपमानाला व प्रसामान्य दाबाखाली म्हणजे ०° से. तपमानाला व अेक वातावरण दाबाखाली ग्रॅमरेणुभार वायूमध्ये असणाऱ्या वायुरेणूंची संख्या ६.०३×१०^{२३} इतकी असते. या विशिष्ट संख्येला ॲव्होगाड्रो अंक म्हणतात. निलंबन द्रावणात समतोल प्राप्त झाल्यानंतर कणसंहितीची कशी विभागणी होते यावरून कणाचा रेणुभार पेरिनने गणिताने काढला होता. त्यामुळे ग्रॅमरेणुभार म्हणजे किती ग्रॅम हे त्यास माहित

होते. त्यानंतर त्याने अेका कणाचा किती भार आहे हे काढले. अेका कणाचा भार नक्की करण्यात बऱ्याच अडचणी होत्या. पण त्या सर्व अडचणीवर मात करून,त्याने अेका कणाचा भार नक्की केला. कणांच्या ग्रॅमरेणुभाराला कणाच्या भाराने भागल्यावर त्यास ६.८×१०^{२३} ही संख्या मिळाली. ही संख्या ॲव्होगाद्रो अंकाच्या बरीच जवळची आहे. आता या विषयीच्या विचारांचे महत्त्व मुद्दाम वर्णन करण्याची जरूर नाही. सर्वसाधारण अेकरूप निलंबित कण वायुरेणूसारखे असतात, इतकेच नाही तर, त्यांच्या बाबतीत मिळालेला ॲव्होगाद्री अंक वायुरेणूंच्या बाबतीत मिळालेल्या ॲव्होगाद्रो अंकाइतका असतो.

नोबेल पारितोषिकाचा स्वीकार केल्यानंतर पेरिनने फ्रेंच भाषेत वक्तव्य करून आपल्या संशोधनाची माहिती दिली. त्या भाषणातील काही भागाचा अनुवाद पुढे दिला आहे.

दोन संयुगांच्या रेणूंचा भार ज्यावेळी माहीत असतो, त्यावेळी त्या भारांच्या प्रमाणात घेतलेल्या संयुगांच्या भारांचे (यामध्ये असणाऱ्या रेणूंची संख्या समान असणार.) अेकच तपमान व अेकच दाब या परिस्थितीमध्ये अेकच आकारमान असते. वेगळ्या शद्वात ही गोष्ट मांडायची असल्यास असेही म्हणता येईल की रेणू जड किंवा हलके असले तरी समान संख्येत असणाऱ्या रेणूंचा दाब अेकाच तपमानाला व अेकच आकारमान असताना समान असतो. रेणू ज्या पात्रात आहेत त्या पात्राच्या भिंतीवर किंवा बाजूवर ते आदळल्यावर होणारा परिणाम, ते रेणू कोणत्या प्रकारचे आहेत किंवा त्यांचे गुणधर्म काय आहेत यापेक्षा त्यांच्या भारावर अवलंबून असल्याने, मला या बाबतीत अेक गोष्ट सांगावीशी वाटते, ती गोष्ट ॲव्होगाद्रेने अेक आधारतत्त्व म्हणून मांडली आहे. अेकच तपमानाखाली व अेकाच दाबाखाली असणाऱ्या वायूंचे आकारमान अेकच असल्यास, त्या आकारमानातील वायुरेणूंची संख्या समान असते.

कोणताही अेखादा पदार्थ प्रमाणपदार्थ म्हणून अंगिकारल्यावर निरनिराळ्या रासायनिक पदार्थांचे समान रेणूभार आपोआपच ठरतात. ज्यावेळी बत्तीस ग्रॅम ऑक्सिजनच्या विशिष्ट तपमानास व विशिष्ट दाबाखाली असणाऱ्या आकारमानाइतके आकारमान अेखाद्या पदार्थाचे वायुस्थितीत त्याच तपमानास व त्याच दाबाखाली असते, तेव्हा त्या आकारमानाच्या पदार्थाचा भार ग्रॅमरेणूभार

या नावाने ओळखतात. ग्रॅम रेणुभार पदार्थातील रेणूंच्या संख्येस ॲव्होगाद्रो अंक असे म्हणतात.

– – – – –

अणू व रेणू खरोखरच असतील तर त्यांचे सापेक्ष भार आपल्याला माहीत असतात. आणि ॲव्होगाद्रो अंकाचे मूल्य माहीत असल्यास, अणूचे व रेणूचे केवळ भार किती आहेत हे आपल्याला गणिताने काढता येईल.

कोणताही सूक्ष्मतम अविद्राव्य कण पाण्यात किंवा द्रवात टाकल्यास आणि सूक्ष्मदर्शक यंत्रातून त्याकडे पाहात राहिल्यास, तो कण अेका ठराविक वेगानं खाली जाण्याअैवजी, त्याची सतत आणि संपूर्णपणे अनियमित हालचाल चालू असते असे दिसून येते. तो कण इथे येतो, तेथे जातो, इकडे वळतो, तिकडे वळतो, वर येतो, खाली जातो, पुन्हा वर येतो असे त्याचे प्रकार चालू असतात. तो कण अेका जागी स्थिर राहाण्याची काहीच चिन्हे दिसत नाहीत. किंवा हालचालीची अेकच सरासरी स्थिती कायम राहाण्याची ही त्याची प्रवृत्ती दिसत नाही. कणाच्या हाल-चालीचा हा प्रकार लुक्रेशियसने फार पूर्वीच अपेक्षिला होता. ब्युफॉन या शास्त्रज्ञाने ही हालचाल कशा प्रकारची असेल ह्याचे वर्णन केले होते. पण प्रत्यक्षात ही हालचाल रॉबर्ट ब्राऊन या वनस्पतीशास्त्रज्ञाच्या प्रथमत:च पाहाण्यात आली होती. त्यामुळे निलंबन स्थितीतल्या कणाच्या हालचालीला ब्राऊनियन हालचाल म्हणतात.

प्रयोगासाठी घेतलेला सूक्ष्मतम कण कोणत्या पदार्थाचा आहे किंवा त्याचे गुणधर्म काय आहेत, ही गोष्ट महत्त्वाची नाही. अेकच गोष्ट या ब्राऊनियन हाल-चालीच्या बाबतीत दिसून येते. जितका कण लहान तितकी त्याची हालचाल जास्त जोरदार असते. दोन कण पाण्यामध्ये किंवा द्रवामध्ये अेकमेकांच्या अगदी जवळ असले तरी अेका कणाची हालचाल दुसऱ्या कणाच्या हालचालीसारखी नसते. त्यामुळे हालचालीचे कारण तपमान फरक किंवा अभिसरण असेल ही उपपत्ती अग्राह्य समजणे भाग आहे.

– – – – –

ब्राऊनियन हालचाल पाहिल्यानंतर किंवा प्रयोगानी त्या हालचालीबद्दल आपली खात्री करून घेतल्यानंतर आपल्याला रेण्विक उपपत्ती पुन्हा अेकदा विचा-

रात द्यावी लागते. द्रवामध्ये ठेवलेल्या प्रत्येक कणावर त्याच्या आजूबाजूचे रेणू सतत आघात करीत असतात, अशी आपण कल्पना करू या. सर्व बाजूनी कणावर होणारे आघात समतोल राखत नाहीत आणि त्यामुळे रेणूचा आघात झाल्यावर होणारी कणाची हालचाल अनियमित असते व कणाचे आकारमान लहान असल्यास कणाची हालचाल जास्त जोरदार असते.

आता केलेले स्पष्टीकरण योग्य असेल तर कोणत्याही पायसात समतोल प्राप्त झाल्यावर दृष्य कणांचे अेक लहानसे वातावरण झाल्यासारखे दिसेल. या वातावरणांची उंची विशिष्ट प्रमाणात वाढवल्यास, पायसांची संहती नेहमीच विशिष्ट प्रमाणात कमी होते. परंतु ऑक्सिजन रेणूंची संहती पहिल्याच्या निम्मी होण्यासाठी वातावरणात जितक्या उंचीवर जावे लागते. त्या उंचीच्या मानाने पायसाची संहती पहिल्याच्या निम्मी करण्यासाठी पायसाची उंची किती तरी पटीने–प्रसंगी लाखो पट–कमी लागते. त्याचा अर्थ ऑक्सिजन रेणूच्या भाराच्या मानाने पायसातील कणाच्या भार लाखोपट असायला पाहिजे. तेव्हा दृश्य कणाचा भार किती आहे हे ठरविल्यास तो भार ऑक्सिजनचा रेणुभार आणि कणांचा रेणुभार यांचा संबंध प्रस्थापित करीत असल्याने, त्या प्रमाणावरून कोणत्याही रेणूचा भार व त्यावरून अॅव्होगाद्रो अंक ठरवता आला पाहिजे.

तेव्हा पाण्यासारख्या द्रवामध्ये निरनिराळ्या राळेच्या सूक्ष्मतम कणांचे निलंबन करून मी स्थिरस्थिती पायसे तयार केली. राळ अल्कोहोलमध्ये विरघळ–वल्यावर जे द्रावण मिळते, ते खूप पाण्यात ओतल्यास राळेचे पायस तयार होते. राळ पाण्यामध्ये पूर्णपणे अद्राव्य असते. व अल्कोहोलमध्ये तयार केलेले राळेचे द्रावण पाण्यात ओतल्यावर, अल्कोहोल पाण्यात विरघळते आणि द्रावणात अस–लेल्या राळेचे पाण्यामध्ये पायस तयार होते. या पायसात राळेचे भिन्न भिन्न आकारमानाचे सूक्ष्म कण असतात. द्रव रक्त सेन्ट्रीफ्युज यंत्रात खूप वेळ फिरवले तर रक्तातील रक्तपेशी खाली बसतात व वर स्वच्छ द्राव राहतो. तशाच प्रका–रचा प्रयोग राळेच्या पायसावर केल्यास, राळेचा साका खाली बसतो आणि वर अल्कोहोल व पाणी यांचे स्वच्छ विलयन राहते. राळेच्या साक्याबरोबर असलेला अल्कोहोल अुडवून टाकल्यावर, तो साका पाण्यात टाकल्यास राळेचे पायस तयार होते.

या पायसात राळेच्या कणांचे आकारमान असते, त्याहून जवळ जवळ अेकाच आकारमानाचे कण वेगळे काढायचे असतात. ते केल्यावर अेकरूप पायस

तयार होते. या अेकरूप पायसात निलंबन स्थितीत असलेल्या कणांचे आकारमान जवळजवळ अेकच असते. यासाठी मी वापरलेली पद्धत क्रमश: बाष्पीभवन पद्धती सारखी आहे. क्रमश: बाष्पीभवनात, जास्त बाष्पशील घटक बाष्परूपाने प्रथमत: द्रवाबाहेर जातात. त्याप्रमाणे शुद्ध पायस म्हणजे ज्यात अेकच पदार्थ निलंबन स्थितीत असतो असे पायस सेन्ट्रीफ्युज यंत्रात फिरवल्यास, प्रथमत: खाली बसणाऱ्या साक्यात किंवा अवक्षेपात मोठ्या आकारमानाचे कण असतात व सर्वात शेवटी खाली बसणाऱ्या साक्यातील कणांचे आकारमान सर्वात कमी असते. म्हणजे पायसातील कणाना आकारमानाप्रमाणे वेगळे करायचे असल्यास, पायसाला सेन्ट्रीफ्युज यंत्रात फिरवणे हा अेक मार्ग आहे. ते करताना, कोणते नियम पाळावे लागतात ते नियम येथे देण्याची जरुरी नाही. संथपणे काम करीत राहणे अेवढे मात्र करायला पाहिजे. मी अेक किलोग्रॅम गॅम्बोजचे पाण्यात पायस तयार केले. आणि त्यापासून अेकरूप पायस तयार करण्यासाठी ते पायस रोज सेन्ट्रिफ्युज यंत्रात फिरविण्याचा क्रम मी कित्येक महिने चालू ठेवला होता.असे केल्या-नंतर मला जे थोडेसे पायस मिळाले त्यातील निलंबित कणांचे आकारमान जवळ जवळ समान होते. (अेक सहस्त्रांश मिलीमीटरच्या तीन चतुर्थांश इतका त्या कणांचा व्यास होता.)

पायसामध्ये समतोल प्राप्त झाल्यानंतर पृथ्वीच्या गुरुत्वाकर्षणाने निलंबित कणांची कशी विभागणी होते याचा अभ्यास करण्यासाठी पायसाचा अेक थेंब सूक्ष्मदर्शक यंत्राखाली ठेवला. पायसातील पाण्याचे बाष्पीभवन होऊ नये यासाठी तो थेंब लहानशा पात्रात ठेवून ते पात्र पातळ काचपट्टीने झाकून ठेवले होते. प्रथ-मत: पायसातील निलंबित कणांची विभागणी अगदी अेकरूप असते. नंतर अस्ते अस्ते पायसाच्या खालच्या थरात कण जमू लागतात आणि कणांची याहून अधिक विभागणी होण्याचे थांबते. पायसाचे तपमान कमी जास्त करावे त्याप्रमाणे ते कण खाली बसतात किंवा वर येतात.दोन पद्धतीने कणांचे निरक्षण करता येते. पहिल्या पद्धतीत सूक्ष्मदर्शकयंत्र आडवे किंवा जमिनीस समांतर ठेवून, पायसाच्या उंची-प्रमाणे त्याच्या संहतीत होणारा फरक अजमावला जातो. यावेळी पायस व वातावरण यातील साम्य विशेष लक्षात येते. यावेळी पायसाचा तात्काळ फोटोग्राफ घेतल्यास, कणांची अचूक मोजणी करता येते. परंतु अेक मिलीमीटरहून कमी उंची पायसाच्या थेंबाला देता येत नाही; आणि कायम स्वरूपाचा समतोल प्रस्थापित होण्यासाठी कित्येक दिवस लागतात. या कालावधीमुळे कित्येक अडचणी आणि समस्या निर्माण होतात.

निरीक्षणाच्या दुसऱ्या पद्धतीमध्ये सूक्ष्मदर्शक यंत्र उभे ठेवतात आणि सूक्ष्मदर्शकाच्या भिंगाखाली काचपट्टी व त्यावर ठेवलेली पापुद्र्यासारखी पातळ काच यामध्ये फक्त अेक दशांश मिलीमीटर जाडीचे पायस ठेवलेलें असते. दोन मायक्रॉन किंवा दोन सहस्रांश मिलीमीटर जाडीचा थर नीट स्पष्टपणे दिसेल अशा तऱ्हेची सूक्ष्मदर्शकाची रचना असते. त्यानंतर पायसाचा तात्काळ फोटोग्राफ घेतला जातो. त्या फोटोग्राफमुळे अेका विशिष्ट पातळीला असलेल्या पायसाची संहती समजून येते. हवेची घनता वातावरणाच्या निरनिराळ्या उंचीला मोजावी त्याप्रमाणे पायसाची संहती निरनिराळया पातळ्याना मोजली जाते. पायसाची संह ती ठरविण्याचे काम फोटोग्राफवरून सावकाश करता येते.

[अेवढे सांगून झाल्यावर, समतोल प्राप्त झालेल्या पायसात चालू असलेल्या ब्राऊनियन हालचालींचे चलच्चित्र पेरिनने प्रेक्षकाना दाखवले.]

आदर्श वायूना लावायचे नियम सौम्य संहतीच्या पायसाना कसे लागू पडतात याची कल्पना या चलच्चित्रावरून येईल. रेण्विक उपपत्तीचे हे सामान्यीकरण करण्यासाठी फार मोठी कारण परंपरा सांगावी लागत नाही. उलट सौम्य संहतीच्या पायसाच्या बाबतीत आदर्श वायूना लावण्यात येणारे नियम लावता येतात असे प्रयोगांच्या सहाय्याने ठरवले तर रेणूंच्या अस्तित्वाचा तो अेक पुरावा ठरतो. निरनिराळ्या पायसांच्या अभ्यासाने ठरवलेले अॅव्होगाड्रो अंकाचे मूल्य जवळजवळ अेकच असते. पायसातील निलंबित कणाच्या भारात १ ते ५० इतका फरक निलंबित कणाच्या स्वरूपात बदल (गॅम्बोज, मॅस्टिक गोंद, इत्यादी) कणांच्या घनतेत फरक (१.२० पासून १.०६ पर्यन्त) अशा प्रकारचे विविध फरक करून सुद्धा अॅव्होगाड्रो अंकाचे मूल्य अेकच मिळाले. पायस तयार करण्यासाठी (पाणी, शर्करा द्राव ग्लिसरिन इत्यादी) निरनिराळे द्रव घऊन पाहिले. तसेच -९° से. पासून + ६०° से. पर्यंत तपमानात फरक केले. मी वापरलेल्या पायसाची संहती ६ मायक्रॉन उंचीवर पहिल्याच्या निमपट होत होती. त्यावरून मला मिळालेले अॅव्होगाड्रो अंकाचे मूल्य ६.८×१०^{२३} इतके होते.

संशोधनाचे परिणाम

वायूच्या अदृश्य रेणूना जे नियम लागू पडावेत असा गतिक उपपत्तीचा निष्कर्ष आहे ते सर्व नियम पायसातील दृश्य कणाना लावता येतात असे पेरिनने दीर्घ काळपर्यंत संशोधन करून सिद्ध केले. रेणूंच्या अस्तित्वाबद्दलचा प्रायोगिक पुरावा त्याने शास्त्रज्ञांच्या हाती दिला.

१९२७

ऑर्थर हॉली कॉम्प्टन

(१८९२ - १९६२)

“ कॉम्प्टन परिणाम या नावाने ओळखल्या जाणाऱ्या शोधा–विषयीच्या संशोधनाबद्दल नोबेल पारितोषिक ”

(१९२७ साली ऑर्थर कॉम्प्टन आणि चार्लस थॉमसन रीस विलसन यांच्यामध्ये नोबेल पारितोषिक विभागून देण्यात आले. विलसनचे चरित्र कॉम्प्टनच्या चरित्रानंतर दिले आहे.)

चरित्र

१० सप्टेंबर १९८२ रोजी अमेरिकेच्या ओहायओ राज्यातील वुस्टर गावी ऑर्थर हॉली कॉम्प्टनचा जन्म झाला. वुस्टर कॉलिजमधून बी. अेस्सी. पदवी १९१३ मध्ये संपादन केल्यानंतर, त्याने प्रिन्सटन विद्यापीठात अभ्यास करून १९१४ मध्ये अेम् अे. पदवी आणि १९१६ मध्ये पीअेच. डी. पदवी संपादन केली. यानंतर मिनेसोटा विद्यापीठात त्याने अेक वर्ष भौतिकीशास्त्राचा अध्यापक म्हणून काम केले. त्यानंतर पिट्सबर्ग येथील वेस्टिंग हाऊस लॅम्प कंपनीमध्ये दोन वर्षे (१९१७ – १९१९) त्याने संशोधक अभियंता म्हणून काम केले. अमेरिकेच्या सिग्नल कोअरसाठी, विमानोड्डाणास अुपयुक्त अुपकरणे तयार कर–ण्यासाठी त्याने याच काळात संशोधन केले. १९१९ मध्ये नॅशनल रिसर्च फेलोशिप (राष्ट्रीय संशोधन शिष्यवृत्ती) मिळवून, त्याने इंग्लंडमधील केम्ब्रिजच्या कॅव्हे–न्डिश प्रयोगशाळेत संशोधनासाठी प्रयाण केले. तेथे अेक वर्ष संशोधनात घालवि–ल्यानंतर तो अमेरिकेत परतला. अमेरिकेस परतल्यानंतर वॉशिंग्टन विद्यापीठाने

त्यास भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक नेमले. तेथे तीन वर्षे काम केल्यानंतर, त्याने शिकागो विद्यापीठात १९२३–१९२९ ही सहा वर्षे भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक म्हणून अध्यापन व संशोधन केले. त्याच्या संशोधनाचा दर्जा लक्षात घेऊन, त्यास त्या विद्यापीठाने चार्लस अेच्. स्मिथ प्राध्यापक नेमले. या ठिकाणी त्याने १९४५ पर्यंत संशोधन केले. १९४५ मध्ये वॉशिंग्टन विद्यापीठाने त्यास भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक नेमले. व तेथेच त्याचे ऊर्वरित आयुष्य गेले.

१९२६ ते १९४५ ही अेकोणीस वर्षे कॉम्प्टन जनरल अिलेक्ट्रिक कंपनीचा सल्लागार भौतिकीशास्त्रज्ञ होता. दुसऱ्या जागतिक महायुद्धात मेटॅलर्जिकल अॅटॉमिक प्रोजेक्ट (१९४२ ते १९४५) या अणुबॉम्ब निर्मितीसाठी खास उभारलेल्या सरकारी खात्याचा तो प्रमुख होता. १९४६ मध्ये युनायटेड नेशन्स अॅटॉमिक अेनर्जी कमिशनला (संयुक्त राष्ट्र अण्विक ऊर्जा समितीला) तांत्रिक बाबतीत सल्ला–मसलत देणाऱ्या समितीचा तो सदस्य झाला.

१९२७ मध्ये वुस्टर कॉलेजने त्यास अेस्.सी. डी, पदवी अर्पण केली. त्या पदवी व्यतिरिक्त अमेरिकेतल्या व परदेशातल्या कित्येक विद्यापीठानी त्यास माननीय डॉक्टरेट पदव्या अर्पण केल्या आहेत. अमेरिकन अॅकेडमी ऑफ आर्टस् अॅन्ड सायन्स या संस्थेचे रमफोर्ड पदक त्यास १९२७ मध्ये मिळाले. इटालियन अॅकेडमी ऑफ सायन्सेस या संस्थेने त्यास १९३० मध्ये मॅटॉकी पदक दिले. लंडनच्या रॉयल सोसायटीने १९४० मध्ये त्यास ह्युजेस पदक दिले असून, त्याच वर्षी त्यास फ्रँकलिन अिन्स्टिटयूटचे फ्रँकलिन पदक मिळाले आहे. १९४५ मध्ये अमेरिकन फिलॉसॉफिकल सोसायटीने त्यास फ्रँकलिन पदक दिले आहे. १९४७ मध्ये फ्रान्सच्या लिजन ऑफ ऑनरमध्ये त्यास ऑफिसर नेमण्यात आले. याशिवाय तो कित्येक अमेरिकन आणि परदेशी विज्ञान संस्थांचा सभासद होता.

तो १५ मार्च १९६२ रोजी मृत्यू पावला.

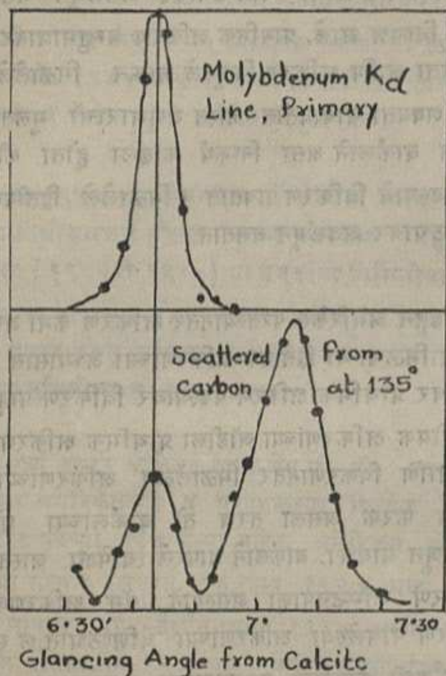
पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

वस्तुमात्रावर क्षकिरण पडल्यानंतर त्यांचे विकरण होऊन जे विकिरण मिळतात. त्यापैकी काहींना क्षकिरणांची वैशिष्ठ्ये असतात व बाकीच्या विकिर–

णांची वैशिष्ठ्ये प्राथमिक क्षकिरणासारखी असत नाहीत.पण ज्या पदार्थावर क्षकिरण पडून विकरण पावतात, त्या पदार्थाच्या वैशिष्ठ्यावर अवलंबून असतात असे, बार्कलाच्या संशोधनातून निष्पन्न झाले. प्राथमिक क्षकिरण वस्तुमात्रावर पडल्यावर ते शोषले जाण्याची शक्यता आणि क्षकिरण विखुरले जाऊन मिळालेले द्वितीयक किरण शोषले जाण्याची शक्यता याबाबतीत जास्त अणुभाराची मुलतत्त्वे यामध्ये बराच फरक आढळल्याने बार्कलाने असा निष्कर्ष काढला होता की प्राथमिक क्षकिरण वस्तुमात्रावर पडल्याने विकिरण पावतात व मिळालेले द्वितीयक क्षकिरण त्या वस्तुमात्राच्या वैशिष्ठ्यावर अवलंबून असतात.

१९२० मध्ये इंग्लंडहून अमेरिकेस परतल्यानंतर क्षकिरण कमी अणुभाराच्या मूलतत्त्वावर पडल्यानंतर मिळणाऱ्या द्वितीयक क्षकिरणांच्या अभ्यासास कॉम्प्टनने सुरवात केली. वस्तुमात्रावर प्राथमिक क्षकिरण पडल्यावर विकिरण पावून मिळा-लेल्या क्षकिरणामध्ये द्वितीयक क्षकिरणांच्या जोडीला प्राथमिक क्षकिरण असल्याने प्राथमिक क्षकिरणांच्या आणि विकरणानंतर मिळालेल्या क्षकिरणांच्या शोषण-क्षमतेमध्ये बराच मोठा फरक असला तरच तो बार्कलाच्या शोषणक्षमता मोजण्याच्या पद्धतीत समजून यायचा. बार्कलाने वापरले त्यापेक्षा जास्त चांगल्या प्रतीची व कार्यक्षम उपकरणे कॉम्प्टनपाशी असल्याने, ब्रॅग क्षकिरणवर्णपटमापी वापरून, कॉम्प्टनने विकरण पावलेल्या क्षकिरणांच्या वैशिष्ठ्यातील सूक्ष्म फरक शोधून काढले. कार्बन या कमी अणुभारी मूलतत्त्वाच्या ग्रफाइट या अपरूपावरून क्षकिरणांचे विकरण झाले असल्यास, विकरण पावल्यानंतर मिळालेल्या क्षकिरणात प्राथमिक तरंगलांबीच्या क्षकिरणांच्या जोडीला, त्यांच्याहून जास्त तरंगलांबी असलेले क्षकिरणही असतात असे त्याला आढळले. प्रथमतः त्याला वाटले की जास्त तरंगलांबीचे हे क्षकिरण वैशिष्ठ्यदर्शक नव्या प्रकारचे विकिरण आहेत. परंतु क्षकिरणांच्या तरंगलांबीतील फरक क्षकिरणांचे विकरण करणाऱ्या वस्तुमात्रावर अवलंबून नाही. परंतु तो फरक क्षकिरणांचा आपाती कोन आणि विकरण कोन यातील फरकावरच अवलंबून आहे असे त्यास आढळले. त्यामुळे कॉम्प्टनने असा निष्कर्ष काढला की क्षकिरणांचे विकरण होते त्यावेळी त्यांची तरंगलांबी थोडीशी वाढते. कॉम्प्टनचा हा निष्कर्ष आता कॉम्प्टन परिणाम या नावाने ओळखला जातो. या सारखाच परिणाम दृश्य प्रकाशाच्या बाबतीत डॉ. सी. व्ही. रामन यानी शोधून काढला असून, तो रामन परिणाम या नावाने ओळखला जातो.

खालील आकृतीत कॉम्प्टनच्या अेका प्रयोगसंचाची माहिती आहे.



आकृती- 29 कॉम्प्टनची आकृती 8
विकरण पावलेल्या क्ष किरणांच्या वैशिष्ठ्यपूर्ण वर्णपट यामध्ये प्राथमिक किरणाचे फेरबदल झालेल्या व फेरबदल न झालेल्या किरणामध्ये विघटन

मॉलिब्डेनम लक्ष्य वापरून मिळालेल्या क्षकिरणातील के विकिरण त्याने प्राथमिक क्षकिरण म्हणून वापरले आहेत. क्षकिरणवर्णपटमापीच्या कॅलसाइटच्या स्फटिकावर हे क्षकिरण पडल्यावर मिळणारा आयनीकरण विद्युतप्रवाह आणि ग्लान्सिग कोन किंवा स्फटिकाचा पृष्ठभाग आणि त्यावर पडणारी क्षकिरणशलाका यामधील कोन यांचा आलेख आकृतीच्या वरच्या भागात दिला आहे. हा आलेख कसा असतो हे त्या आकृतीवरून समजून येईल. के विकिरण कार्बनवर पडू देऊन,

विकिरण झाल्यानंतर मिळणारे द्वितीयक क्षकिरण वर्णपटमापीने तपासले तर आकृतीच्या खालच्या भागात दाखवल्यासारखा आलेख मिळतो. खालच्या आले-खात दोन शिखरे आहेत.

प्राथमिक क्षकिरणांच्या बाबतीत ज्या तरंगलांबीला आलेख शिखर मिळते, त्याच तरंगलांबीला खालच्या आकृतीतील आलेखाच्या दोन शिखरांपैकी कमी उंचीचे शिखर मिळते. या आकृतीतील जास्त उंचीचे आलेख शिखर मात्र जरा जास्त तरंगलांबीला मिळते. ब्रॅगचे

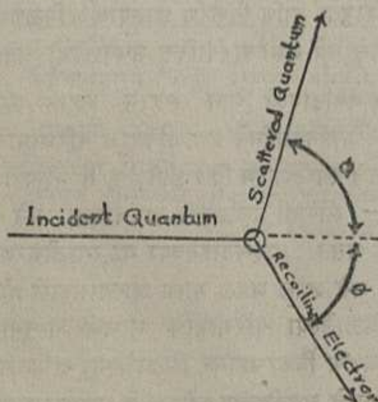
$$n\lambda = 2d \sin Q$$

हे समीकरण वापरून, क्षकिरणांची λ ही तरंगलांबी काढता येते. या समीकरणात Q हा ग्लान्सिंग कोन व d स्फटिक पातळ्यातील अंतर आहे.

विकरण झाल्याने क्षकिरणलांबीत वाढ का व्हावी याचे स्पष्टीकरण विकरणाविषयीच्या पारंपारिक उपपत्तीच्या सहाय्याने देता येईना. पारंपारिक उपपत्तीप्रमाणे प्राथमिक व विकरण झालेल्या क्षकिरणांची तरंगलांबी अेकच असायला पाहिजे. वस्तुमात्रावर पडणारे विकरण त्या वस्तुमात्राच्या अणूमध्ये आपल्या वारंवारतेची आंदोलने निर्माण करतात, आणि त्याच आंदोलनामुळे विद्युतचुंबकीय तरंग किंवा क्षकिरण निर्माण होत असल्याने, वस्तुमात्रावर पड-णाऱ्या क्षकिरणांची वारंवारता आणि विकरण झाल्यावर मिळणाऱ्या क्षकिरणांची वारंवारता यात फरक असू नये अशी पारंपारिक उपपत्तीची अपेक्षा होती.

प्रकाशाचे उत्सर्जन क्वांटामध्ये किंवा लहान लहान ऊर्जापुंजामध्ये होत असते अशी कल्पना करून आईनस्टाईनने प्रकाशविद्युत परिणामाचे किंवा प्रकाशा-मुळे विद्युतप्रवाह मिळण्याचे स्पष्टीकरण दिले होते, व ते मान्यही झाले होते. h हा प्लँकचा स्थिरांक, v = आपाती प्रकाशाची वारंवारता असे धरल्यास, अेका क्वांटमचे मूल्य hv इतके असते. आइन्स्टाइनच्या या स्पष्टीकरणामुळे प्रकाशाला काहीसे कणस्वरूप असते असे जवळ जवळ मान्य झाल्यासारखे होते. क्षकिरणांच्या बाबतीत आपल्याला मिळालेल्या परिणामाचे म्हणजे वस्तुमात्रावर पडणाऱ्या क्षकिरणांची वारंवारता आणि विकरणानंतर मिळालेल्या क्षकिरणांची वारंवारता यात फरक असतो या शोधाचे स्पष्टीकरण कॉम्प्टनने आइन्स्टाइनच्या प्रकाश-क्वांटा उपपत्तीच्या सहाय्याने दिले. आइन्स्टाइनच्या प्रकाशक्वांटमला हल्ली फोटॉन म्हणतात. मुक्त ऋणकणावर ज्यावेळी अेक प्रकाश क्वांटम पडतो किंवा ऋणकण मुक्तावस्थेत आहे असे मानण्याइतका ऋणकणाचा अणूशी असलेला संबंध कमजोर

आहे अशा ऋणकणावर प्रकाश क्वांटम पडतो त्यावेळी बिलीयर्डच्या अेका चेंडूवर दुसऱ्या चेंडूचा आघात झाल्यासारखा प्रकार घडतो किंवा अेका गोष्टीवर दुसऱ्या गोटीचा आघात झाल्यासारखा प्रकार घडतो. अेका चेंडूवर दुसऱ्या चेंडूचा आघात झाल्यावर, आघात होते वेळी त्या चेंडूची जी गती असते, त्या गतीप्रमाणे किंवा त्या दोन्ही चेंडूच्या गती विचारात घेऊन, त्या चेंडूना गती मिळते. तसेच अेका चेंडूवर दुसऱ्या चेंडूचा आघात होण्यापूर्वीची चेंडूची ऊर्जा आणि संवेग, आघातानंतरची चेंडूची ऊर्जा आणि संवेग यांच्या बरोबर असतात. म्हणजे थोडक्यात ऊर्जा आणि सवेग यांचा क्षय होत नाही. आपाती फोटॉनची ऊर्जा आणि विकरण पावलेल्या फोटॉनची ऊर्जा यातला फरक, ज्या ऋणकणा मुळे फोटॉनचे विकरण होते त्या ऋणकणाला मिळालेल्या गतिक ऊर्जेइतका असतो. म्हणजे आपाती फोटॉनच्या वारंवारतेहून विकरण पावलेल्या फोटॉनची ऊर्जा कमी असते. त्याचा अर्थ आपाती फोटॉनच्या तरंगलांबीपेक्षा विकरण पाव-लेल्या फोटॉनची तरंगलांबी जास्त असते. ही प्रक्रिया सोबतच्या आकृतीत दाखवली आहे. अेका ऋणकणावर फोटॉनचा आघात झाल्यावर त्याचे विकरण होते. हे या आकृतीत दाखवले आहे. फोटॉन ज्या दिशेने ऋणकणावर आदळतो त्या दिशेशी ϕ इतका कोन होईल अशा दिशेने विकरण झालेला फोटॉन जातो आणि फोटॉन आदळण्याने, फोटॉन येण्याच्या दिशेशी θ अेवढा कोन होईल अशा दिशेने ऋण-कण जातो हेही या आकृतीवरून लक्षात येईल.



आकृती-३० कॉम्प्टनची आकृती-१
क्षकिरण फोटॉनचे एका ऋणकणामुळे ϕ कोनातून विचलन होते.

१९२३ मध्ये कॉम्प्टनने ही उपपत्ती मांडली, त्यावेळी फोटॉन आदळण्याने मार्ग सरून ऋणकण वेगळ्या दिशेला गेला असे दाखविणारा काहीही प्रायोगिक पुरावा मिळाला नव्हता. परंतु मेघपात्र पद्धत वापरुन, सी. टी. आर. विल्सनने कॉम्प्टनची उपपत्ती सिद्ध होईल हे दाखवणाऱ्या ऋणकणमार्गांचे फोटो घेतले. हे ऋणकण मार्ग सोबतच्या आकृतीत दाखवले आहेत.

आपाती क्षकिरण फोटॉन ऋणकणावर φ या ठिकाणी आदळल्यावर, तो फोटॅन येण्याच्या दिशेशी θ इतका कोन करणाऱ्या दिशेने, फोटॉन आदळण्याने सरकलेला ऋणकण जातो. पण ऋणकणावर फोटॉन आदळण्याने आयन निर्माण होतात आणि त्यामुळे ते आयन जाण्याचा मार्ग मेघपात्रात दृश्य स्वरुपात आणता येतो. पण ऋणकण अतिशय अनियमित मार्गाने जातो आणि त्याचा वेग कमी होत जातो. B पर्यंत तो ऋणकण येतो तेव्हा त्याचा वेग इतका कमी होतो की त्याच्यामुळे आयन निर्माण होत नाहीत, आणि ऋणकणाचा मार्ग B येथेच संपतो. आकृतीच्या वरच्या भागात A येथे अेक अनियमित मार्ग सुरू होतो आणि तो c पर्यंत आल्यानंतर तेथेच संपतो. Q येथे ऋणकणावर आदळण्याने विकरण पावलेल्या फोटॉनचा हा मार्ग असतो. हा मार्ग Q येथे सुरु होतो, पण A पर्यंत फोटॉन येईपर्यन्त त्या फोटॉनचा काही परिणाम झाल्याचे दिसून येत नाही. A येथे तो फोटॉन आल्यानंतर त्याच्यामुळे अणूतून अेक ऋणकण बाहेर पडतो. त्यानंतर A पासून C पर्यन्त येईपर्यन्त त्या ऋणकणामुळे आयन निर्मिती होत असते. θA हा मार्ग आपाती फोटॉनच्या मार्गाशी करीत असलेल्या φ या कोनाचे मूल्य आणि फोटॉन आदळण्याने सरकलेल्या ऋणकणाच्या मार्गाचा, फोटॉन येण्याच्या दिशेशी होणाऱ्या θ या कोनाचे मूल्य कॉम्प्टनच्या उपपत्तीला धरुन गणिताने काढलेल्या मूल्याशी जमतात.

कॉम्प्टनच्या संशोधनाची माहिती करुन घेतल्यानंतर आता त्याच्या नोबेल व्याख्यानाकडे वळायला हरकत नाही. त्या व्याख्यानातला काही भाग या ठिकाणी दिला आहे.

" क्षकिरणांचे आणि प्रकाशाचे विकरण "

वस्तुमात्रावर पडणाऱ्या क्षकिरणांच्या तरंगलांबीपेक्षा, वस्तुमात्रावर क्षकिरण पडल्यानंतर त्यापासून मिळणाऱ्या द्वितीयक क्षकिरणांची तरंगलांबी जास्त असते

असे येत्या काही वर्षात केल्या गेलेल्या प्रयोगामुळे समजून आले आहे. त्याउलट अेखाद्या गढूळ माध्यमातुन गेल्याने विकरण पावलेल्या प्रकाशाची तरंगलांबी, मूळ प्रकाशाच्या तरंलांबीहून जास्त असते का हे शोधून काढण्यासाठी केलेल्या प्रयोगातून काही निष्पन्न झाले नाही. म्हणजे आपाती प्रकाशाच्या तरंगलांबीत व विकरण झालेल्या प्रकाशाच्या तरंगलांबीत काही फरक असतो का हे समजून आले नाही. प्राथमिक क्षकिरण शलाकेचा वर्णपट व द्वितीयक क्षकिरणांचा वर्णपट अभ्यासल्यास प्राथमिक क्षकिरणशलाकेचे खालील आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे दोन विभाग होतात असे दिसते. अेका विभागातील क्षकिरणांची तरंगलांबी पहिल्या इतकीच आहे आणि दुसऱ्या विभागातील क्षकिरणांची तरंगलांबी पहिल्यापेक्षा जास्त असते. ज्यावेळी वेगवेगळ्या तरंगलांबीचे प्राथमिक क्षकिरण आम्ही वापरून पाहिले, त्यावेळी व्दितीयक क्षकिरणांच्या दोन विभागांच्या तरंगलांबीतील फरक नेहमी तेवढाच असल्याचे दिसून आले. फक्त या दोन विभागांची तौलनिक तीव्रता भिन्न भिन्न असते. ज्यावेळी जास्त तरंगलांबीचे प्राथमिक क्षकिरण वापरले, त्यावेळी तरंगलांबीत अजिबात फरक न झालेल्या क्षकिरण विभागाची ऊर्जा दुसऱ्या विभागाच्या ऊर्जेहून जास्त होती. कमी तरंगलांबीचे प्राथमिक क्षकिरण असल्यास तरंगलांबीत फरक झालेल्या क्षकिरण विभागाची ऊर्जा दुसऱ्या विभागाच्या ऊर्जेहून जास्त होती. अतिशय कमी तरंगलांबीचे के किरण प्राथमिक किरण म्हणून वापरल्यास, व्दितीयक किरणामध्ये तरंगलांबीत अजिबात फरक न झालेले किरण मिळणे जवळ जवळ अशक्य आहे.

अशा रीतीने दृश्य प्रकाशाअेवजी आपण क्षकिरण आणि गॅमा किरण प्राथमिक किरण म्हणून वापरल्यास विकरणाविषयीची पारंपारिक ऋणकण-उपपत्ती व्दितीयक क्षकिरणांच्या तरंगलांबीच्या बाबतीत पाळली जात नाही असे दिसते.

त्यामुळे जास्त तरंगलांबीच्या व्दितीयक क्षकिरणाना विकरण पावलेले क्षकिरण म्हणायचे की स्फुरदीप्तिवान क्षकिरण म्हणायचे असा अेक प्रश्न आपल्यापुढे उभा राहातो. व्दितीयक क्षकिरणांची तीव्रता ही अेक गोष्ट आपण लक्षात घेतली पाहिजे. थॉमसन, डेबाय आणि इतर शास्त्रज्ञ यानी मांडलेल्या उपपत्तींच्या आधारे विकरण पावलेल्या क्षकिरणांची केवळ तीव्रतेचे गणित मांडनी येते या उपपत्तीच्या आधारे विकरण पावलेल्या क्षकिरणांची तीव्रता, तरंगलांबीत फरक असलेल्या व फरक नसलेल्या द्वितीयक क्षकिरणांच्या तीव्रतेच्या बेरजेइतकी

असते. परंतु पुष्कळदा असे घडते की तरंगलांबीत फरक न पडलेल्या द्वितीयक क्षकिरणांची तीव्रता गणिताने काढलेल्या द्वितीयक क्षकिरणांच्या तीव्रतेहून अत्यंत कमी असते. विकरण पावलेल्या क्षकिरणांच्या तीव्रतेविषयीची ऋणकण उपपत्ती बरोबर आहे असे म्हणायचे असेल तर तरंगलांबीत फरक पडलेल्या व फरक न पडलेल्या क्षकिरणांचा आपल्याला विकरण पावलेल्या क्षकिरणात समावेश करावा लागेल.

या द्वितीयक क्षकिरणांच्या उपपत्तीविषयीची माहिती त्यांच्या ध्रुवीकरणा-वरुन मिळते. ९०^{0} अंशाला विकरण पावलेले क्षकिरण पूर्णपणे प्लेन पोलराइज्ड (किंवा अेक पातळीय ध्रुवीकरण झालेले) व्हावेत अशी ऋणकण उपपत्तीची अपेक्षा आहे. जास्त तरंगलांबी असलेले क्षकिरण स्फुरदीप्तीवान असल्यास, त्यांचे अेक पातळीय ध्रुवीकरण होणार नाही. क्षकिरणांच्या विकरणाच्या बाबतीत केलेल्या प्रयोगात, काटकोनात किंवा ९०^{0} अंशाला विकरण पावलेल्या क्षकिरणांचे अेक पातळीय ध्रुवीकरण झालेले असते असे बार्कलाला आढळले होते. क्षकिरण व प्रकाशकिरण यात साम्य असल्याचा हा एक पुरावा होता. परंतु ९०^{0} अंशाला मिळालेल्या द्वितीयक क्षकिरणांची तीव्रता त्यांच्या बृहत्तम तीव्रतेच्या फक्त अेक तृतीयांश असते, आणि क्षकिरणांचे पूर्ण ध्रुवीकरण होत असल्यास ती तीव्रता शून्यापर्यन्त खाली उतरायला पाहिजे, किंवा ध्रुवीकरण झालेल्या किरणाना अजिबात तीव्रता असू नये.

द्वितीयक क्षकिरणात ध्रुवीकरण न झालेले किरण नाहीत हे बार्कलाचा प्रयोग पुन्हा करुन आम्ही शोधून काढले. विकरणासाठी छोटे ठोकळे वापरल्यास, क्षकिरणांचे संपूर्ण ध्रुवीकरण होत असते असे आम्हाला आढळले. बार्कलाने आपल्या प्रयोगात विकरणासाठी मोठे ठोकळे वापरल्याने क्षकिरणांचे अनेकविध विकरण होत होते आणि त्यामुळे क्षकिरणांचे संपूर्ण ध्रुवीकरण होत नव्हते. द्वितीयक क्षकिरण संपूर्ण ध्रुवीकरण झालेले किरण असतात याचे अेकच कारण म्हणजे ते संपूर्णपणे विकरण झालेले क्षकिरण असतात.

पारंपारिक उपपत्तीप्रमाणे ज्यावेळी अेखादा विद्युतचुंबकीय तरंग ऋण-कणाला धक्का देऊन पुढे जाताना त्या ऋणकणामध्ये आंदोलने निर्माण करतो. त्यावेळी त्या तरंगाचे विकरण होते आणि आंदोलने प्राप्त झालेले ऋणकण त्याना मिळालेल्या ऊर्जेचे पुनः उत्सर्जन करतात. विकरण झालेल्या किरणाच्या तरंग–

लांबीच्या वाढीचे कारण देताना विकरण प्रक्रियेचा जरा वेगळ्या तऱ्हेने विचार करावा लागला. तो विचार सोबतच्या आकृतीच्या सहाय्याने समजावून घेता येईल. या ठिकाणी क्षकिरण म्हणजे तरंग असे न समजता, ते प्रकाशकण किंवा फोटॉन आहेत असे धरून विचार केला आहे. शिवाय पारंपारिक उपपत्तीत अवश्य मानलेली ऋणकणांची आंदोलने या ठिकाणी नाहीत तर त्या अैवजी फोटॉन ऋणकणावर प्रत्यास्थ आघात करतात व या आघातात ऊर्जा आणि संवेग यांचे अक्षयत्व टिकून असते.

विकरणासंबंधीची ही नवीन कल्पना आपल्याला प्रयोगाने पडताळून पाहाता येते. तरंगलांबीतला फरक $\delta\lambda$ धरल्यास तो फरक

$$\delta\lambda = \frac{h}{mc} \left(1 - \cos \phi \right)$$

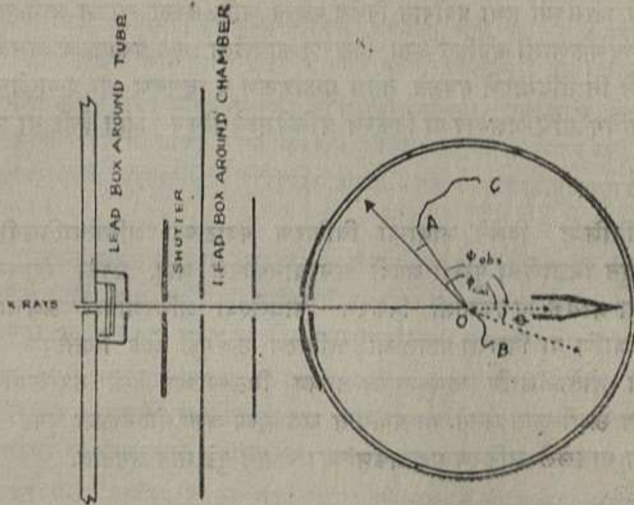
या समीकरणाने काढता येतो. या समीकरणात h = प्लँकचा स्थिरांक, m = ऋणकणाचा भार c = प्रकाशाचा वेग, θ व ϕ हे आकृतीत दाखवलेले कोन आणि v = आपाती क्वांटमची वारंवारता.

या $\delta\lambda$ चे मूल्य काढल्यास विकरण झालेल्या क्षकिरणाच्या वर्णपटात अेक वेगळी रेषा का दिसते हे समजते. h, m आणि c यांची मूल्ये जितक्या अचूकपणे आपल्याला माहीत आहेत, त्या अचूकपणाच्या मर्यादेत, वरील समीकरण अचूक आहे. विकरण झालेल्या क्षकिरणापासून धक्क्याने मागे सरलेल्या ऋणकणाची गतिक ऊर्जा साधारणपणे,

$$hv \times \frac{hv}{mc^2} \cos^2 \theta \text{ अेवढी असते.}$$

ही उपपत्ती जेव्हा आम्ही प्रथमतः मोडली, त्यावेळी अशा प्रकारचे धक्का खावून मागे सरलेले ऋणकण अज्ञात होते. पण आम्ही त्यासंबंधीची कल्पना मांडल्यानंतर काही महिन्यातच सी. टी. आर. विल्सन आणि डब्ल्यू. बोथे यानी अशा प्रकारच्या ऋणकणांचा शोध लावला. धक्का खावून मागे सरलेल्या ऋणकणांची संख्या, त्यांची ऊर्जा आणि त्यांची अुपलब्ध जागेमध्ये विभागणी या सर्व गोष्टी फोटॉन उपपत्तीला धरून अपेक्षिल्याप्रमाणे आहेत हे आता माहीत झाले आहे. ज्यावेळी प्रकाशकण किंवा फोटॉन मूळ मार्गाशी ϕ कोन करणाऱ्या नव्या मार्गाकडे

वळवला जातो, त्यावेळी त्याच्या आघाताने ऋणकण प्रकाशकणाच्या मार्गाशी θ कोण सरून मागे सरेल ϕ व θ या मधला संबंध Cvs$\frac{1}{2}\phi = \tan\theta$ या समीकरणाने मिळतो.



आकृती- 31 कॉम्टनची आकृती- 10
θ कोनातून प्रत्याघात करणाऱ्या ऋणकणाचा संबंध
φ कोनातून विचलन पावणाऱ्या फोटॉनशी असला पाहिजे

सोबतच्या आकृतीत रेखाचित्राने दाखवलेल्या उपकरणाच्या सहाय्याने आम्ही हे समीकरण तपासले. क्षकिरणांची अेक अत्यंत निरूंद शलाका विल्सन प्रसरणपात्रात येते. तेथे आल्यानंतर क्षकिरणांच्या धक्क्याने तेथे धक्का खाऊन मागे सरलेला ऋणकण तयार होतो. प्रकाशकण उपपत्ती बरोबर असल्यास, धक्का खाऊन मागे सरलेल्या ऋणकणाशी संबंधित फोटॉन (प्रकाशकण) ϕ हा कोन करणाऱ्या दिशेने विकरण पावेल. जर अशा वेळी बीटा कणाचे उत्सर्जन झाले, तर बीटा कणाच्या उत्पत्तीस्थानापासून प्रकाशकणाचे कोणत्या दिशेने विकरण झाले ते सांगता येते. (यावेळी अशा प्रकारच्या प्रक्रियेचा अेक फोटो कॉम्प्टनने पडद्यावर दाखवला.)

धक्का खावून मागे सरलेल्या ऋणकणाने फोटॉन येण्याच्या दिशेशी केलेला Q हा कोन आणि द्वितीयक बीटा कण उत्पत्तीनंतर फोटॉन येण्याच्या दिशेशी करीत असलेला ϕ हा कोन यांचे मापन केल्यास, फोटॉन उपपत्तीच्या आधारे मांडलेल्या समीकरणाने काढलेल्या त्या कोनांच्या मूल्याशी त्या कोनांची मूल्ये जुळतात. आमच्या ह्या प्रयोगास विशेष महत्व आहे. धक्का खाऊन मागे सरलेल्या प्रत्येक ऋणकणाशी संबंधित असा विकरण पावलेला एक प्रकाशकण असतो हे या प्रयोगाने निःसंदिग्धपणे समजते. तसेच प्रकाशकण व ऋणकण या प्रणालीची ऊर्जा आणि संवेग यांचे अक्षयत्व या विकरण प्रक्रियेमध्ये टिकून राहाते हेही या प्रयोगाने समजते.

विशिष्ट दिशेने जाणाऱ्या विकिरण क्वांटांच्या अस्तित्वाविषयीचा या प्रयोगातून मिळालेला पुरावा अगदी समाधानकारक आहे. धक्का खावून मागे सरलेल्या प्रत्येक ऋणकणाशी विकरण पावलेल्या क्षकिरणाच्या ऊर्जेचा संबंध असतो आणि या विकरण पावलेल्या क्षकिरण ऊर्जेमुळे अेक द्वितीयक बीटाची निर्मिती होते. आणि ऋणकणाला धक्का मिळण्याच्या वेळी ठरलेल्या दिशेने क्षकिरण ऊर्जा जात असते. या प्रयोगात असंभाव्य अशा मोठमोठ्या चुका नसल्यास विकरण पावलेले क्षकिरण प्रकाशकणांच्या रूपाने पुढे जात असतात.

विकरणांच्या विकरणाविषयीचा अभ्यास वाढवत नेल्यास असे दिसते की क्षकिरणांची वारंवारता खूप असल्यास विकरण पद्धतीत फरक होतो. विकिरणांची वारंवारता कमी असता, विकरणाचे स्पष्टीकरण तरंग अुपपत्तीच्या सहाय्याने देता येते. परंतु क्षकिरणांची वारंवारता खूप असल्यास, विकरणाचे स्पष्टीकरण देण्यासाठी प्रकाशकण किंवा फोटॉन जाण्याच्या दिशेत बदल होतो असेच म्हणावे लागते. असे जरी असले तरी क्षकिरण आणि प्रकाशकिरण या दोन्ही गोष्टी परस्परांपासून भिन्न प्रकृती नाहीत हे नक्की. त्यामुळे आपल्यापुढे एक प्रश्न अुभा राहतो. विकिरण तरंगरूपी असतात असा पुरावा मिळतो आणि त्याबरोबर प्रकाश-कण असतात असेही म्हणावे लागते. म्हणजे प्रकाशाला अेकाच वेळी तरंगरूप आणि कणरूप असते.

आपल्यापुढे उभा राहिलेला हा गुंतागुंतीचा प्रश्न तरंगयंत्रशास्त्राच्या सहा-य्याने सुटला आहे किंवा सुटण्याच्या मार्गावर आहे. गती असलेल्या वस्तुमात्राच्या प्रत्येक कणाशी संबंधित असे तरंग असतात या तरंगाची तरंगलांबी λ,

$mv = h/\lambda$ या समीकरणाने मिळते असे डी. ब्रॉलीचे म्हणणे आहे. या समीकरणात mv = कणाचा संवेग, h = प्लँकचा स्थिरांक होय. डी. ब्रॉलीने हे समीकरण मांडले, त्याच सुमारास डुअेनने सुद्धा क्षकिरण फोटॉनच्या वक्रीभवनाचे स्पष्टीकरण देण्यासाठी जवळ जवळ तशाच प्रकारचे आधारतत्त्व मांडले. डीब्रॉलीचे समीकरण व डुअेनचे आधारतत्त्व ऋणकणांच्या बाबतीत वापरले तर अणुरचनेच्या अभ्यासात ही कल्पना किती अुपयुक्त आहे ते श्रॉडिंजरने दाखवले आहे. हायसेनबर्ग, बोर आणि इतर शास्त्रज्ञ यांच्या प्रयत्नामुळे असे दिसू लागले आहे की कण आणि तरंग यांच्यामधल्या संबंधाची कल्पना, प्रकाशाचे वक्रीभवन व प्रकाशाचा प्रतिरोध यांच्या स्पष्टीकरणासाठी वापरता येते व त्याचवेळी ती कल्पना विकरण आणि प्रकाशवैद्युती परिणाम यांच्या स्पष्टीकरणासाठीही वापरता येते.

जवळ जवळ समांतर रेघा मारून तयार केलेल्या ग्रेटिंगमुळे किंवा रेखापट्टीमुळे क्षकिरणांचे वक्रीभवन याविषयी कॉम्प्टनने यानंतर संशोधन केले. चकाकी दिलेल्या पृष्ठभागावर पडणाऱ्या क्षकिरणांच्या त्या पृष्ठभागाशी होणारा कोन अत्यंत अल्प असल्यास म्हणजे १^0 हूनही कमी असल्यास, ते क्षकिरण त्या पृष्ठभागावरून संपूर्णपणे परावर्तित होतात याचा त्याला १९२२ मध्ये शोध लागला. पदार्थाचा क्षकिरणासाठी वक्रीभवनांक शोधून काढण्यासाठी या शोधाचा कॉम्प्टनने अुपयोग केला. यानंतर १९२३ मध्ये त्याने असे सुचवले की जवळ जवळ समांतर रेघा मारून तयार केलेल्या ग्रेटिंगमुळे किंवा रेखापट्टीमुळे क्षकिरणांचे वक्रीभवन झाले पाहिजे. फक्त क्षकिरणांची दिशा आणि रेखापट्टीचा पृष्ठभाग यामधील कोन संपूर्ण परावर्तनासाठी अवश्य असणाऱ्या क्रिटिकल (क्रांतीकारक) कोनाहून कमी असायला पाहिजे. रेखापट्टीच्या सहाय्याने क्षकिरणांचे वक्रीभवन करून, त्याने १९२५ मध्ये क्षकिरणांची तरंगलांबी मोजली. क्षकिरणशलाकेची दिशा आणि रेखापट्टीचा पृष्टभाग यामध्ये असणारा कोन लहान असला तरी मापन पद्धतीत सुधारणा केल्यानंतर क्षकिरणांची तरंगलांबी दहा हजार भागात एक भाग संभाव्य चूक इतक्या अचूकतेने मोजता आली.

१९३० च्या आसपास कॉम्प्टनने विश्वकिरणासंबंधी संशोधन करायला सुरवात केली. पृथ्वीच्या अक्षांश व रेखांश यातील फरकामुळे विश्वकिरणाच्या तीव्रतेत होणारे फरक त्याने अभ्यासले. या क्षेत्रातही त्यांचे कार्य अतिशय महत्त्वपूर्ण ठरले. सूर्यमालेत किंवा आकाशगंगेत सुद्धा विश्वकिरण निर्माण होत नसून

ते त्याहून अत्यंत दूर अशा विश्वाच्या भागात निर्माण होतात असे त्याने मिळवलेल्या माहितीवरून सिद्ध झाले.

संशोधनाचे परिणाम

विज्ञान संशोधनाच्या आपल्या अगदी सुरवातीच्या काळात क्षकिरणांच्या तरंगलांबीबद्दल त्याने लावलेला शोध त्याचा अेक अतिशय मोठा शोध आहे. क्षकिरण विकरणाविषयीची मांडणी करण्यासाठी तो शोध उपयोगी पडला, इतकेच नाही तर त्या शोधाने आइनस्टाइनच्या प्रकाशाविषयीच्या फोटॉन उपपत्तीस दुजोरा मिळाला. सी. टी. आर. विल्सनला मेघपात्रात मिळालेल्या कणमार्गांचा कॉम्प्टन शोधाच्या मदतीने अर्थ लावला तर आइनस्टाइनच्या अुपपत्तीस पुष्टी देणारा प्रायोगिक पुरावा विल्सनला आपल्या प्रयोगात मिळाला असे सिद्ध होते.



चार्लस थॉमसन रीस विल्सन



ओवेन विलान्स रिचर्डसन



प्रिन्स लुई व्हिक्टर डी ब्रॉली



सर चंद्रशेखर व्यंकट रामन

१९२७

चार्लस थॉमसन रीस विल्सन

(१८६९ – १९५९)

"विद्युतभारवाही जलद कणांच्या मार्गाचा मागोवा घेण्याची बाष्पसंघनन पद्धत शोधून काढल्याबद्दल पारितोषिक"

चरित्र

स्कॉटलंडची राजधानी अेडिनबरा जवळच्या ग्लेकोर्स गावात १४ फेब्रुवारी १८६९ रोजी चार्लस थॉमसन रीस विलसनचा जन्म झाला. तो चार वर्षांचा असताना, त्याचे वडील वारल्याने त्याची आई मँचेस्टरमध्ये राहू लागली. त्यामुळे चार्लस विल्यनचे शिक्षण मँचेस्टरमध्ये झाले. प्रथमतः मँचेस्टरमधील अेका खाजगी शाळेत आणि नंतर ओवेन्स कॉलिजमध्ये त्याचे शिक्षण झाले. याच ओवेन्स कॉलेजला पुढे व्हिक्टोरिया विद्यापीठ असे नाव मिळाले. १८८८ च्या ऑक्टोबर महिन्यात त्याने केम्ब्रिजमधील सिडने ससेक्स कॉलेजमध्ये प्रवेश मिळविला. तेथे त्याने भौतिकीशास्त्र व रसायनशास्त्र यांचा विशेष अभ्यास करुन, १८९२ मध्ये केम्ब्रिज विद्यापीठाची पदवी परीक्षा दिली.

१८९५ मध्ये त्याने कॅव्हेन्डिश प्रयोगाशाळेत मेघनिर्मितीचा अभ्यास करायला सुरवात केली व प्रयोगशाळेत बंद काचपात्रात जलबाष्पाचा मेघ निर्माण करण्याची पद्धत बसवली. १८९५ साल संपत आले त्यावेळी त्यास क्लार्क मॅक्सवेल शिष्यवृत्ती मिळाल्याने यापुढची तीन वर्षे त्याने पूर्ण वेळ संशोधन कार्य करण्यात व्यतीत केली. यानंतर हवामान खात्यात त्याने अेक वर्ष नोकरी केली. या काळात त्याने वातावरणातील विद्युतविषयी संशोधन केले. १९०० साली त्याला

सिडने ससेक्स कॉलिजची फेलोशिप मिळाली व भौतिकीशास्त्राचा अध्यापक म्हणून नेमणूक झाली. त्यानंतर पुढची १८ वर्षे कॅव्हेन्डिश प्रयोगशाळेत तो प्रायोगिक भौतिकीशास्त्र शिकवित असे. हे अध्यापन करीत असतानाच, तो १९१३ पासून सोलर फिझिक्स ऑबझर्वेटरीमध्ये हवामान विषयीच्या भौतिकीशास्त्रात संशोधन करीत असे. १९१८ मध्ये हवामान खात्यातील विद्युत विभागाचा त्यास प्राध्यापक नेमण्यात आले. १९२५ मध्ये केम्ब्रिज विद्यापीठाने त्यास विज्ञान विषयांचा जॅकसोनियन प्राध्यापक नेमले. १९३४ साली तो कार्यनिवृत्त झाला.

लंडनच्या रॉयल सोसायटीने १९०० मध्ये त्यास आपला फेलो निवडले. त्याच रॉयल सोसायटीने १९११ मध्ये त्यास ह्युजेस पदक व १९२० मध्ये रॉयल पदक देऊन गौरविले. १९२० मध्ये केम्ब्रिजच्या फिलॉसॉफीकल सोसायटीने त्यास हॉपकिन्स पारितोषिक दिले. १९२१ मध्ये ॲडिनबराच्या रॉयल सोसायटीने त्यास गनिंग पारितोषिक दिले. तर अमेरिकेच्या फ्रँकलिन अिन्स्टिटयूटचे त्यास १९२५ मध्ये हॉवर्ड पॉट्स पदक दिले.

नव्वद वर्षे आयुष्याचा उपभोग घेतल्यानंतर १५ नोव्हेंबर १९५९ रोजी त्यास मृत्यू आला.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

विद्यार्थी दशेपासून विल्सनला वातावरणाबद्दल विशेष कुतूहल होते. धुके व ढग कसे निर्माण होतात, वातावरणात विजेची उत्पत्ती कशी होते याबद्दल वाटत असलेल्या कुतूहलापायी त्याने जे संशोधन केले, ते करीत असता लागलेल्या शोधामुळे त्यास प्रसिद्धी मिळाली व नोबेल पारितोषिक विजेत्याचा मान मिळाला.

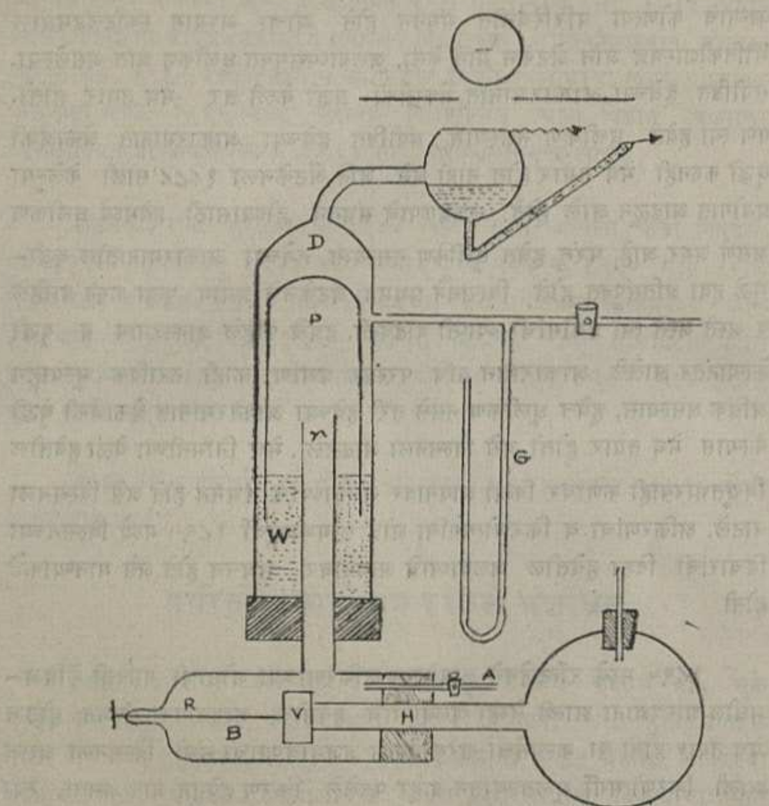
सर्व साधारणतः वातावरणामध्ये जलबाष्प असते. इतर सर्व परिस्थितीत काहीही फरक नसल्यास, वातावरणात असणाऱ्या जास्तीत जास्त जलबाष्पाचे प्रमाण वातावरणाच्या तपमानावर अवलंबून असते. वातावरणातील बृहत्तम जलबाष्पाचे प्रमाण तपमान चढल्यास वाढते व तपमान उतरल्यास कमी होते. जलबाष्प संपृक्त हवेच्या आकारमानात तात्काळ वृद्धी करुन तिचे तपमान खाली उतरवले तर हवेत जास्त प्रमाणात असणाऱ्या जलबाष्पाचे संघनन होऊ नये याबद्दल विशेष

काळजीपूर्वक उपाययोजना न केल्यास जलबाष्पाचे संघनन होते आणि तशा तऱ्हेची उपाययोजना केल्यास हवा जलबाष्पाने अतिसंपृक्त होते. हवेतील जल-बाष्पाचे कोणत्या परिस्थितीत संघनन होते याचा अभ्यास स्कॉटलंडमधील भौतिकीशास्त्रज्ञ जॉन अेटकेन याने केला. जलबाष्पसंपृक्त धूलीकण आत असलेल्या, संपीडित हवेच्या आकारमानात अेकाअेकी वृद्धी केली तर मेघ तयार होतो. पण त्या हवेत धूलीकण नसल्यास, संपीडित हवेच्या आकारमानात अेकाअेकी वृद्धी करुनही मेघ तयार होत नाही असे जॉन अेटकेनला १८८८ साली केलेल्या प्रयोगात आढळून आले होते. जलबाष्पाचे संघनन होण्यासाठी हवेमध्ये धूलीकण असणे जरुर आहे. परंतु हवेत धूलीकण नसल्यास, हवेच्या आकारमानातील वृद्धी-मुळे हवा अतिसंपृक्त होते. विल्सनने प्रथमतः अेटकेनचे प्रयोग पुन्हा करुन पाहिले व अस्ते अस्ते त्या प्रयोगांची व्याप्ती वाढवली. हवेचे पहिले आकारमान व वृद्धी केल्यानंतर झालेले आकारमान यांचे परस्पर प्रमाण काही ठराविक मूल्याहून अधिक असल्यास, हवेत धूलीकण नसले तरी हवेच्या आकारमानात अेकाअेकी वृद्धी केल्यास मेघ तयार होतो असे विल्सनला आढळले. मेघ निर्मितीच्या वेळी हवेतील विद्युतभारवाही कणावर किंवा आयनावर जलबाष्पाचे संघनन होते असे विल्सनला वाटले. क्षकिरणांचा व किरणोत्सर्गाचा शोध लागण्यापूर्वी १८९५ मध्ये विल्सनच्या विचारांची दिशा हवेतील जलबाष्पांचे आयनावर संघनन होते असे मानण्याकडे होती.

१८९५ मध्ये रॉन्टजेनने लावलेल्या क्षकिरणांच्या शोधाची माहिती केंब्रिज-मधील शास्त्रज्ञांना झाली तेव्हा जलबाष्पाचे हवेतील आयनावर संघनन होऊन मेघ तयार होतो या कल्पनेचा खरेखोटेपणा अजमावण्याची संधी विल्सनला प्राप्त झाली. किरणोत्सर्गी मूलतत्त्वातून बाहेर पडलेले किरण हवेतून जात असता, त्या हवेच्या आकारमानात अेकाअेकी वृद्धी केली तर मेघ तयार होतो का हे पाहाण्या-साठी त्याने प्रयोग केले. हवेत धूलीकण नसताना, मेघ तयार होण्यासाठी हवेचे मूळचे आकारमान व वृद्धी केल्यावर असणारे आकारमान यांच्या परस्पर प्रमाणा-पेक्षा कमी परस्परप्रमाण असले तरी, अशा हवेतून किरणोत्सर्ग जाऊ दिला तर मेघ तयार होतो असे त्यास आढळले. म्हणजे हवेतील आयनावर जलबाष्पाचे संघनन होत असते ही आपली कल्पना बरोबर असल्याचे त्यास समजून आले.

या प्रयोगापासून त्याने ज्या प्रयोग मालिकेला सुरवात केली ती प्रयोग-

मालिका कित्येक वर्षे चालू होती. यावेळी म्हणजे १८९७ मध्ये विल्सनने मेघ तयार करण्यासाठी वापरलेले पात्र सोबतच्या आकृतीत दाखवले आहे.



आकृती - ३२
सी.टी.आर. विल्सनचे मेघपात्र (१८९७)

या आकृतीत P हा पिस्टन किंवा दट्टया आहे. या दट्टयाखालील हवेच्या दाबामुळे तो दट्टया, दाखवलेल्या ठिकाणी स्थिर राहातो. R ही सळी मागे खेचून V हा व्हाल्व्ह उघडला तर P या दट्टयाखालील हवा, H या नळीद्वारे उजवीकडे दाखवलेल्या निर्वातपात्रात जाते. P हा दट्टया अेकाअेकी खाली पडू दिला तर, त्याच्या वरच्या बाजूस असलेल्या D या जागेतील संपृक्त हवेच्या आकारमानात

अेकाअेकी वृद्धी होते व ती हवा D ही जागा आणि तिला जोडलेले विस्तारपात्र व्यापते. हवेच्या आकारमानात किती वृद्धी झाली हे G या दाबमापकावरुन काढता येते. प्रयोगमालिकेच्या सुरवातीला विस्तारपात्राचा जो आकार होता त्यामुळे हवेच्या आकारमानाची अेकाअेकी वृद्धी केल्यास हवेत भोवरे तयार व्हायचे. हा दोष काढून टाकण्यासाठी विल्सनने दट्ट्याच्या आकारात सुधारणा केली. १९१० मध्ये वापरलेल्या उपकरणात P या दट्ट्याचा वरचा भाग अगदी सपाट करण्यात आला व तोच भाग विस्तारपात्रीचा तळ म्हणून वापरण्याची सोय होती. या नव्या उपकरणातील दट्ट्याखाली आल्यावर, हवेच्या आकारमानात वृद्धी झाली तरी हवेत भोवरे निर्माण होत नसत. किरणोत्सर्गी मूलतत्त्वातून बाहेर पडणारे किरण संपृक्त हवेतून जात असता, तिचे आकारमान अेकाअेकी वाढवले तर ज्या मार्गाने किरण जातात,त्या मार्गावर जलबाष्पाचे संघनन झाल्याचे त्यास प्रथमत:१९११मध्ये दिसून आले. विमानातून बाहेर पडणाऱ्या धुरामुळे जसे विमान कोणत्या मार्गाने गेले हे सांगता येते त्याप्रमाणे संघनन झालेल्या जलबाष्पामुळे अल्फा कण व इलेक्ट्रॉन (ऋणकण) हवेतून कोणत्या मार्गाने गेले हे सांगता येते. थोडक्यात अणूहूनही लहान अशा अल्फा कणांचा किंवा बीटा कणांचा मार्ग टिपता येऊ लागला.

नोबेल पारितोषिकाचा स्वीकार केल्यानंतर, विल्सनने दिलेल्या व्याख्यानात मेघपात्र पद्धतीची सुरवात व वाढ यांचा उहापोह करण्यात आला आहे. त्या व्याख्यानातील काही भागाचा अनुवाद पुढे दिला आहे.

" स्कॉटलंडमधल्या बेननेव्हिस या उंच पर्वतावरील ऑब्झर्व्हेटरीत मी १८९४ च्या सप्टेंबर महिन्यात काही काळ काम केले. ऑब्झर्व्हेटरीजवळ पर्वत-श्रेणीभोवती पसरलेल्या ढगावर सूर्यकिरण पडल्यावर फारच मनोहर दृष्य दिसायचे. तसेच मनोहर दृष्य प्रयोगशाळेत निर्माण करावे असे मला वाटू लागले.

निसर्गाची नक्कल करण्याच्या उद्देशाने मी १८९४ मध्ये, प्रयोगशाळेत मेघनिर्मिती करण्याचे प्रयोग सुरू केले. सजळ हवेचे प्रसरण करण्याची कुलिअे आणि अेटकेन यांची पद्धत मी त्यावेळी वापरत होतो. प्रयोगाना सुरवात केल्यावर, निसर्गातल्या रम्य दृश्यापेक्षा जास्त आकर्षक असे काही तरी मला आढळून आले अेटकेनच्या पद्धतीने, धूलीकणापासून पूर्णपणे मुक्त अशा सबाष्प हवेचे प्रसरण केल्यास ज्या हवेचे मेघात रूपातर होत नसे, त्याच हवेचे प्रसरण केल्यास व प्रसरण झाल्याने बाष्पाचे हवेतील प्रमाण वाढल्याने तिची अतिसंपृक्तता काही ठराविक

प्रमाणापलीकडे गेल्यास, तिच्यापासून मेघनिर्मिती करता येते असे आम्हाला आढळले. हे पाहिल्यानंतर आम्ही सबाष्प हवेचे प्रसरण करण्यासाठी एक नवीन प्रकारचे उपकरण तयार केले. या उपकरणात हवेत इतर काहीही प्रदूषण करणारे पदार्थ मिसळू न देता, इष्ट त्या प्रमाणात चटकन प्रसरण करण्याची सोय होती. त्यामुळे हवेचे प्रसरण किती करायचे हे अगोदरच ठरवून त्याप्रमाण तिचे प्रसरण करता येत असे.

त्यानंतर आम्हाला असे आढळून आले की हवेचे मूळ आकारमान व प्रसरण केल्यानंतर होणारे आकारमान यांचे परस्पर प्रमाण १ : २५ असल्यास, हवेतील जलबाष्पाची अतिसंपृक्तता लवकर वाढते. हवेचे मूळ आकारमान व प्रसरण केल्यानंतर होणारे आकारमान यांचे १ : २५ हे परस्परप्रमाण विशेष लक्षात ठेवले पाहिजे. मेघ तयार करून व त्यातील जलबिंदू खाली बसू देऊन व हा प्रयोग पुन्हा पुन्हा करून, सबाष्प हवा अेटकीनच्या धूलीकणापासून पूर्णपणे मुक्त केली तर अशा हवेचे प्रसरण केल्यानंतर होणाऱ्या आकारमानाशी, मूळ आकारमानाचे प्रमाण १ : २५ च्या आत असल्यास, अशा हवेचे प्रसरण केल्यावर मेघनिर्मिती होत नाही. पण हवेचे प्रसरण पंचवीस पटीहून जास्त पट केल्यास मात्र, मेघ-निर्मिती होते व जलबिंदू खाली पडू लागतात.

यानंतर हवेचे तात्काळ प्रसरण करू शकेल अशा तऱ्हेचे जास्त कार्यक्षम उपकरण आम्ही तयार केले. या उपकरणाच्या सहाय्याने प्रयोग केल्यावर, हवेतील जलबाष्पाची अतिसंपृक्तता मूळच्या आठपट झाल्यास, हवेचे ते प्रसरणही मुद्दाम लक्षात ठेवण्यासारखे आहे, असे ठरले. या विशिष्ठ प्रसरण मर्यादेहून जास्त प्रसरण केल्यास, धूलीकणविरहित हवेत दाट मेघ तयार झाल्याचे आढळले. हवेचे प्रसरण वाढवत गेल्यास मेघातील जलबिंदूची संख्या झपाट्याने वाढत होती, आणि त्या जलबिंदूच्या सूक्ष्म आणि अेकरूपी आकारामुळे, मेघाला सुंदर रंग प्राप्त होत होते.

दुसऱ्या अतिसंपृक्तता मर्यादेपलीकडे हवेचे प्रसरण वाढवत गेल्यास दाट मेघ मिळतात याचे स्पष्टीकरण असे देता येते की यावेळी हवेमध्ये वायूच्या किंवा बाष्पाच्या रेणूखेरीज दुसरे काहीही नसले तरी, प्रसरण केलेल्या हवेतील जल-बाष्पाचे संघननीकरण होत असते. पहिली अतिसंपृक्तता मर्यादा आणि दुसरी अतिसंपृक्तता मर्यादा यामध्ये पावसासारखे जलबिंदू पडायला लागायचे त्याबद्दल मला पहिल्यापासून कुतूहल होते. मेघातील जलबिंदूंची संख्या सीमित होती आणि

तरीसुद्धा त्यांचे पुनर्जीवन होत होते. ही गोष्ट आणि यासाठी करावी लागणारी अतिसंपृक्तता त्यामुळे रेण्विक आकारमानाहून फार मोठ्या बिंदूंचे अस्तित्व मेघात आहे असे वाटेना. त्यामुळे मेघातील काही विशिष्ट परिस्थितीत असलेल्या रेणूंची किंवा अणूंची संख्या मोजता येण्याची शक्यता दृष्टिपथात आली. मेघातील या अणूवर विद्युतभार असणे शक्य होते का ? किंवा मेघामध्ये आयनांचे अस्तित्व होते?

१८९५ मध्ये रॉन्टजेनने लावलेला क्षकिरणांचा शोध प्रसिद्ध झाला. १८९६ मध्ये जे. जे. थॉमसनने क्षकिरणांचा परिणाम होऊ दिलेल्या हवेच्या विद्युत-वहन क्षमतेचा अभ्यास सुरु केला, आणि मला क्षकिरणनलिका वापरण्याची संधी मिळाली. ती क्षकिरणमालिका प्रो. थॉमसन यांचे सहकारी अेव्हरेट यानी तयार केली होती. ज्यावेळी हवेचे प्रसरण १ : २५ हून कमी होते, त्यावेळी क्षकिरणांचा परिणाम होत असलेल्या हवेमध्ये जलबिंदू तयार झाले नाहीत. परंतु हवेचे प्रसरण, पाऊस पाडणाऱ्या आणि मेघ निर्माण करणाऱ्या मर्यादामध्ये होते, त्यावेळी अशा प्रसरणामुळे क्षकिरणांचा परिणाम होत असलेल्या हवेमध्ये दाट धुके निर्माण झाले. त्याचा अर्थ मेघ पात्रातल्या हवेमध्ये नेहमी कमी संख्येने निर्माण होणाऱ्या सूक्ष्म बिंदुअैवजी क्षकिरणामुळे खूप मोठ्या संख्येने सूक्ष्मजलबिंदू तयार झाले होते.

— — — —

त्यानंतर १८९६ ते १८९८ या दोन वर्षात मेघपात्रउपकरणाच्या सहाय्याने क्षकिरणांचा परिणाम होऊन किंवा नव्याने शोधून काढलेल्या युरॅनियम किरणांचा परिणाम होऊन, वायुमध्ये संघननीकरण क्रियेने तयार होणाऱ्या सूक्ष्मजलबिंदूचा आम्ही अभ्यास केला.

हवेचे आयनीकरण घडवून आणणाऱ्या प्रक्रियकांचा परिणाम होत असता, हवेमध्ये सूक्ष्म जलबिंदू तयार झाले व त्यावर जलबाष्पाचे संघननीकरण होण्यासाठी लागणाऱ्या कमीत कमी अति संपृक्ततेच्या दृष्टीने ते इतर वेळी मिळणाऱ्या सूक्ष्म जलबिंदूहून कोणत्याही प्रकारे भिन्न नव्हते.

हवेचे आयनीकरण घडवून आणणाऱ्या प्रक्रियकामुळे तयार होणाऱ्या सूक्ष्म जलबिंदूवर, विद्युतक्षेत्राचा काय परिणाम होतो याचा अभ्यास करता, ते जलबिंदू

आयन असल्याचे समजून आले. हवेचे प्रसरण करण्यापूर्वी त्यावर विद्युतक्षेत्राचा परिणाम होऊ दिल्यास, ते हवेतून संपूर्णपणे काढून घेता येतात व ते सूक्ष्म जलबिंदू किंवा आयन काढून घेतल्यानंतर हवेचे प्रसरण केल्यास मेघनिर्मिती होत नाही असे दिसून आले.

विद्युतभार अजिबात धारण न केलेले सूक्ष्मबिंदू निरनिराळ्या प्रकारे हवे-मध्ये तयार करून, त्यांच्या गुणधर्मांचा मी अभ्यास केला.

- - - -

त्यानंतर १८९८-१८९९ या वर्षात धन व ऋण आयनावर होणाऱ्या संघननीकरण क्रियेचा मी अभ्यास केला. ऋण आयनावर जलबिंदूचे संघननीकरण होण्यासाठी हवेची अतिसंपृक्तता नेहमीच्या चौपट करावी लागत होती. तर धन आयनावर जलबिंदूचे संघननीकरण होण्यासाठी हवेची अतिसंपृक्तता नेहमीच्या सहापट करावी लागत होती. म्हणजे हवेचे प्रसरण १ : ३१ हून अधिक करावे लागत होते.

जलबिंदूचे संघननीकरण घडवून आणण्यामध्ये आयनांच्या कार्याचा अभ्यास हा माझ्या संशोधनाचा अेक भाग झाला. यामुळे वैयक्तिक आयन दृश्य स्वरुपात आणता येत होते आणि धन आयन व ऋण आयन यामधील भेद स्पष्ट करता येत होता.

- - - -

संघननीकरण क्रियेची अुपयुक्तता वाढवण्याच्या दृष्टीने मी १९१० मध्ये नवीन प्रयोगास सुरवात केली.

आयनावरील विद्युतभार प्रत्यक्ष मोजणे शक्य व्हावे हे माझ्या संशोधनाचे उद्दिष्ट होते. अगोदरच माहित असलेला विद्युतभार धारण करणारे आयन संघननीकरण क्रियेने दृश्य स्वरुपात आणायचे, त्यांचे फोटोग्राफ घ्यायचे आणि त्यांची संख्या मोजायची अशी माझ्या संशोधनाची दिशा होती. मेघपात्रातील ऋणविद्युतभार धारण करणाऱ्या धातुपट्टीवर नीलातीत किरणांचा परिणाम घडू देऊन, त्या पट्टीपासून मधून मधून निघणारा विद्युतप्रवाह मोजायचा व अशारीतीने आयनप्रवाह निरनिराळ्या गटात विभागून आणि दर गटातील आयनांची संख्या संघननीकरण क्रियेने मोजायची असे माझ्या संशोधनाचे स्वरुप होते.

माझ्या सुरवातीच्या प्रयोगानंतर, अल्फा व बीटा किरणांचे कणस्वरुप स्पष्ट झाले होते. आयनीकरण घडवून आणणाऱ्या कणाचा मार्ग दृश्य स्वरुपात आणायचा हे माझ्या संशोधनाचे उद्दिष्ट होते. आयनीकरण कण हवेतून गेल्यावर तयार होणाऱ्या आयनावर जलबिंदूचे संघननीकरण घडवून आणून, त्याना दृश्य स्वरुपात आणायचे आणि त्यांचे फोटोग्राफ घ्यायचे अशी पद्धत माझ्या संशोधनात वापरायची असे मी ठरवले होते. तोपर्यन्त मिलिकनने ऋणकणावरचा विद्युतभार नक्की किती आहे, हे ठरविल्याने जलबिंदूची संख्या मोजून त्यावरुन आयनावर किती विद्युतभार असतो हे ठरविण्याची माझी कल्पना मी अमलात आणली नाही. हवेतील आयनावर जलबिंदूचे संघननीकरण करुन त्याना दृश्य स्वरुपात आणून, त्यांचे फोटोग्राफ घेण्यामध्ये मी यशस्वी झाल्याने विद्युतभारवाही कणांच्या हवेतील मार्गाचा मागोवा घेता येऊ लागला.

हवेचे प्रसरण करण्यासाठी जास्तीत जास्त उपयुक्त ठरेल अशा तऱ्हेच्या उपकरणाची मांडणी, उभारणी व चाचणी घेण्यात आणि मेघातील बिंदूचे फोटोग्राफ घेण्यासाठी त्यावर तात्काळ प्रकाश पाडू शकेल अशा तऱ्हेची यंत्रणा उभारण्यात आमचा बराच वेळ गेला. उपकरणाची उपयुक्तता ठरविण्यासाठी घ्यायच्या सर्व चाचण्या १९११ पर्यंत पुऱ्या झाल्या नव्हत्या. पण त्यावेळी माझ्या मनात असा एक विचार आला की आहे या उपकरणाच्या सहाय्याने विद्युतभारवाही कणांच्या मार्गाचा मागोवा घेता येतो की नाही याची अेकदा चाचणी घ्यावी. पहिला प्रयोग आम्ही क्षकिरणांच्या बाबतीत केला. हवेतून क्षकिरण जात असता, त्या किरणामुळे तयार झालेल्या आयनावर जलबिंदूचे संघननीकरण घडवून आणण्यासाठी आम्ही हवेचे योग्य त्या प्रमाणात प्रसरण केले. तेव्हा मेघपात्रात बारीक सुतासारखे मार्ग दिसू लागले. क्षकिरणामुळे हवेत निर्माण झालेल्या ऋणकणांच्या मार्गाचा तो मागोवा होता. त्यानंतर सर विल्यम क्रुक्सने शोधून काढलेल्या स्पिन्थॅरोस्कोप उपकरणाची रेडीयम असलेली बाजू आम्ही मेघपात्राला टेकून ठेवली. तेव्हा रेडीयममधून बाहेर पडणाऱ्या अल्फा कणांच्या मार्गावर जलबिंदूंचे संघननीकरण झाले आणि अल्फा कणांचा मार्ग कसा असतो हे प्रथमतःच दृष्टोत्पत्तीस पडले.त्यानंतर बीटा कणांचे उत्सर्जन करणारे मूलतत्व मेघपात्राजवळ ठेवून बीटा कणांच्या मार्गाचे आम्ही फोटो घेतले.

– – – – –

आम्ही तयार केलेल्या उपकरणामध्ये आणखी सुधारणा करण्यात १९११ सालचा पूर्वार्ध संपला. आमच्या प्रयोगासाठी वापरलेले प्रसरण उपकरण कॅव्हेन्डिश प्रयोगशाळेच्या यंत्रविभागात तयार केले होते व अजूनपर्यन्त मी तेच वापरीत आहे.

विद्युतभारवाही कणांच्या मार्गाचे चांगले फोटोग्राफ घ्यायचे असल्यास पुढील गोष्टी मुख्यत्वे करुन ध्यानात घ्याव्या लागतात. हवेमध्ये किंवा वायूमध्ये अजिबात खळबळ होऊ न देता त्याचे प्रसरण केले पाहिजे. खूप रुंद व उथळ मेघपात्र वापरल्यास व त्याचा तळ चटकन खाली येऊन, वायूच्या आकारमानाचे इच्छित प्रसरण घडवून आणण्याची त्यात सोय पाहिजे. मेघपात्रात धूलीकण अजिबात नकोत. इतकेच नाही, तर परीक्षण करायच्या आयनीकरण कणाखेरीज इतर कोणत्याही प्रकारे तयार झालेले आयन त्यात असून चालत नाहीत मेघपात्रात असलेले आयन काढून टाकण्यासाठी मेघपात्राच्या तळच्या व वरच्या पृष्ठभागामध्ये विद्युतक्षेत्र ठेवावे लागते.

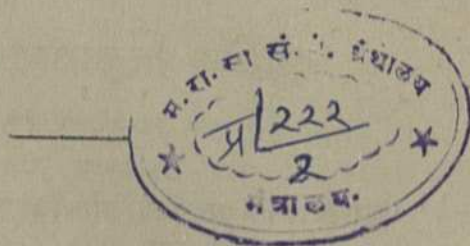
विद्युतभारवाही कणांच्या मार्गाची अचूक धारदार किंवा ठळक फोटोग्राफ घेण्यासाठी पुढे दिलेल्या क्रमानेच सर्व कामे आटोपली पाहिजेत· पहिले काम वायूचे अचानक प्रसरण करुन इष्ट ती अतिसंपृक्तता मिळविणे. दुसरे काम या अतिसंपृक्त वायूमधून आयनीकरण घडवून आणणारे कण धाडणे, आणि तिसरे व शेवटचे काम कणांच्या मार्गावरील आयनावर मेघातील संघनन झालेल्या जल–बिंदूवर प्रकाश टाकून फोटोग्राफ घेणे.

त्यावेळी घेतलेल्या फोटोग्राफमुळ पुर्वीचेच निष्कर्ष पक्के झाले. हे निष्कर्ष अप्रत्यक्षरीत्या मिळविण्यात आले होते, व काही निष्कर्ष तर तोपर्यन्त मान्यता पावले होते.

संशोधनाचे परिणाम

मूलभूत कणांच्या संशोधनासाठी विल्सन मेघपात्र पद्धत अत्यंत उपयुक्त ठरली आहे· तिची उपयुक्तता किती आहे याची कल्पना लॉर्ड रदरफोर्डच्या पुढील उद्‌गारावरून येण्यासारखी आहे. “ विज्ञानाच्या इतिहासात विल्सन मेघपात्र पद्धत अेक अत्यंत मौलिक व आश्चर्यकारक शोध आहे.” या शद्वात लॉर्ड रदर–

फोर्डने मेघपात्र पद्धतीची उपयुक्तता सांगितली आहे. ऋणकणावर किती विद्युतभार असतो हे ठरविण्याकरिता सर जे. जे. थॉमसनने विल्सन मेघपात्र वापरले आहे. तसेच कॉम्प्टन उपपत्ती तपासण्यासाठीही ते मेघपात्र वापरले गेले आहे. १९३६ सालचे नोबेल पारितोषिक मिळविणारे अॅन्डरसन आणि १९४८ सालचे नोबेल पारितोषिकाचे मानकरी ब्लॅकेट यानी आपल्या संशोधनासाठी हेच विल्सन मेघपात्र वापरले आहे.



१९२८

ओवेन विलान्स रिचर्डसन

(१८७९ - १९५९)

"थर्मायोनिक घटनेच्या शोधाबद्दल व त्याच्या नावाने ओळ-खण्यात येणाऱ्या नियमाच्या शोधाबद्दल नोबेल पारितोषिक"

चरित्र

२६ एप्रिल १८७९ रोजी, इंग्लंडच्या यॉर्कशायर परगण्यातील डयूसबरी गावी ओवेन विलान्स रिचर्डसनचा जन्म झाला. १८९७ पर्यंत त्याने गावातल्या शाळेत शालेय शिक्षण पुरे केले व केम्ब्रिजच्या ट्रिनिटी कॉलेजमध्ये प्रवेश मिळ-विला. १९०० साली पदवीधर झाल्यानंतर १९०२ साली मिळालेल्या ट्रिनिटी कॉलेजच्या फेलोशिपच्या जोरावर त्याने कॅव्हेन्डिश प्रयोगशाळेत १९०६ पर्यंत संशोधन केले. १९०६ मध्ये अमेरिकेतील प्रिन्सटन विद्यापीठात भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक म्हणून नेमणूक झाल्याने त्याने अमेरिकेस प्रयाण केले. प्रिन्सटन विद्या-पीठात त्याने १९१३ पर्यंत अध्यापन व संशोधन केले. १९१३ मध्ये लंडन विद्यापीठाच्या किंग्ज कॉलिजमध्ये भौतिकीशास्त्राचा व्हीटस्टन प्रोफेसर म्हणून नेमणूक झाल्याने तो इंग्लंडला परतला. १९२४ मध्ये लंडनच्या रॉयल सोसायटीने त्यास यारो संशोधक प्राध्यापक व भौतिकीशास्त्राचा संशोधन संचालक नेमले. १९४४ साली कार्यनिवृत्त होईपर्यंत तो यारो प्राध्यापक व संशोधन संचालक होता.

अमेरिकेच्या फिलॉसॉफीकल सोसायटीने त्यास १९११ मध्ये आपले सभा-सदत्व दिले. १९१३ मध्ये लंडनच्या रॉयल सोसायटीने त्यास आपला फेलो

निवडले. लंडनच्या रॉयल सोसायटीचे ह्युजेस पदक १९२० मध्ये व रॉयल पदक १९३० मध्ये त्यास मिळाले. १९२६ मध्ये तो रॉयल सोसायटीच्या अध्यक्षपदी विराजमान झाला. १९२८ पर्यंत त्याने ते पद भूषविले. १९३९ मध्ये त्यास सर ही पदवी मिळाली.

८० वर्षांचा झाल्यावर, १९५९ मध्ये तो मरण पावला.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

भौतिकीशास्त्राच्या विविध क्षेत्रात रिचर्डसनने संशोधन केले आहे. उष्मा-गतिकशास्त्र, प्रकाशीय-विद्युतशास्त्र, वर्णपटशास्त्र आणि क्षकिरणशास्त्र या भौतिकीशास्त्राच्या विविध शाखामध्ये त्याने संशोधन केले असले तरी तप्त वस्तूतून उत्सर्जित होणाऱ्या विद्युतविषयीच्या संशोधनाशी त्याचे नाव विशेष करुन निगडीतआहे. तप्त वस्तूतून उत्सर्जित होणाऱ्या विद्युतविषयीच्या अभ्यासास त्याने थर्म-आयोनिक्स असे नाव दिले व सध्या तेच नाव रुढ आहे.

फार पूर्वी म्हणजे १६०५ मध्ये सर विल्यम गिलबर्ट याच्या असे लक्षात आले की ' अेक्सायटेड अिलेक्ट्रिक ' ला बाहेरून उष्णता पुरवली तर त्यामधून ' अिलेक्ट्रिक अेफ्युव्हियम ' कमी होते. साध्या शद्वात तप्त वस्तूतून विद्युतउत्सर्जन होते हे १६०५ सालीच सर गिलबर्टच्या लक्षात आले होते. विद्युतभार धारण करणाऱ्या वस्तू तापवल्यास त्यातून विद्युत-उत्सर्जन होते या विधानास अठराव्या शतकाच्या मध्यापासून मान्यता मिळाली होती. तरीपण या विषयासंबंधी इंग्लंड-मधल्या अेफ्. गथ्री या संशोधकाने १८७० पर्यन्त संशोधन करीपर्यन्त अशा प्रकारच्या विद्युत-उत्सर्जनाकडे फारसे कोणाचे लक्ष गेले नव्हते. १८८० च्या सुमारास अेल्स्टर आणि गीटेल यानी जर्मनीमध्ये या विषयीचा पद्धतशीर अभ्यास सुरू केला. त्या अभ्यासात त्याना असे आढळून आले की कमी तपमानाला तप्त तारामधून धनविद्युत उत्सर्जन होते आणि वरच्या तपमानाला तप्त तारामधून ऋणविद्युत उत्सर्जन होते. याच सुमारास अमेरिकेमध्ये थॉमस अेडिसनचे प्रयोग चालू होते. दीप्तीमान दिव्याच्या बाहेरच्या बाजूस अेक स्वतंत्र अिलेक्ट्रोड बस-विला आणि तो अिलेक्ट्रोड दिव्याच्या तारेच्या धन किंवा ऋण टोकाला जोडण्याची व्यवस्था केली, तर धन टोकाला तो अिलेक्ट्रोड जोडल्यावर विद्युतप्रवाह मिळतो पण ऋण टोकाला अिलेक्ट्रोड जोडल्यास विद्युतप्रवाह मिळत नाही. हे असे का

होते याचे सर अॅम्ब्रोज फ्लेमिंगने १८९० मध्ये स्पष्टीकरण दिले. दिव्यातील तारेच्या ऋण टोकातून विद्युत बाहेर पडून, निर्वातातून प्रवास करुन ती धन-विद्युतभार धारण करणाऱ्या अिलेक्ट्रोडकडे आल्याने विद्युतप्रवाह मिळतो व दिव्यातील तारेच्या धनटोकातून विद्युत बाहेर पडत नसल्याने, ऋणविद्युतभार धारण करणाऱ्या अिलेक्ट्रोडकडे विद्युत प्रवाह येत नाही. मार्कोनीच्या कार्याची माहिती देताना, कोहरर हे उपकरण ब्रॅनली या शास्त्रज्ञाने शोधून काढले याचा उल्लेख आला आहे. याच ब्रॅनलीला अेल्स्टर आणि गीटेल यांचे निष्कर्ष बरोबर आहेत असे १८९२ मध्ये आढळन आले. परंतु त्याबरोबर असेही आढळले की काही विशिष्ट धातू लालगुंज होईपर्यन्त तापवल्यास, त्यातून धनविद्युत कमी होण्याअैवजी ऋणविद्युत कमी होते.

या विषयीच्या संशोधनात पुढील पावले कोणत्या दिशेने टाकावीत याबद्दल मार्गदर्शक होईल अशी कोणतीच उपपत्ती मांडली गेली नव्हती. त्यानंतर १८९७ मध्ये सर जे. जे. थॉमसनने ऋणकणाचा शोध लावला, आणि वायूमध्ये विद्युत संघनन किंवा विद्युतसंचय होतो अशी अेक उपपत्ती मांडली. थॉमसनच्या या उपपत्तीप्रमाणे कार्यवाहीत आणलेल्या विद्युतक्षेत्रामुळे गती प्राप्त झालेले आयन किंवा विद्युतभार धारण करणारे कण विद्युतवहनाचे काम करतात. आयनीकरण झालेल्या वायूची विद्युतवहनक्षमता आणि तप्त वस्तूतून होणारी विद्युतभारातील घट यांचा काही तरी निश्चित संबंध असला पाहिजे असे वाटू लागले. म्हणून १८९९ मध्ये जे. मॅक्लेलंड या शास्त्रज्ञाने तप्त तारांच्या सान्निध्यात असलेल्या वायूंच्या विद्युतवहन क्षमतेचा अभ्यास केला. त्यावेळी केलेल्या प्रयोगात असे दिसून आले की तप्त वस्तुपासून विद्युत वाहून नेण्याचे काम आयन करतात. परंतु आयन कसे उत्पन्न झाले किंवा निर्माण झाले याची प्रक्रिया समजली नव्हती. त्यानंतर त्याच वर्षी थॉमसनने ऋणआयनावरील विद्युतभार व ऋण आयनाचा भार यांचे परस्पर प्रमाण ठरवले. ते परस्परप्रमाण कॅथोड किरणातील कणावरील म्हणजे ऋणकणावरील विद्युतभार आणि ऋणकणाचा भार यांच्या परस्पर प्रमाणाइतके आहे, असे त्यास दिसून आले. १९०० मध्ये रिचर्डसनने तप्त वस्तू-तून उत्सर्जित होणारी विद्युत या विषयी कॅव्हेन्डिश प्रयोगशाळेत संशोधन करायला सुरवात केली. त्यावेळी तप्त वस्तूतून ऋणकणांचे उत्सर्जन होत असावे असा अंदाज करण्यापर्यन्त या विषयीच्या संशोधनाने मजल मारली होती. या पुढचा वृत्तांत रिचर्डसनच्याच शद्बात समजावून घेतल्यास बरे असे वाटल्याने रिचर्डसनच्या नोबेल व्याख्यानातील काही भाग पुढे दिला आहे.

वस्तूमात्र आणि विद्युत यांचा परस्परावर परिणाम हा माझ्या संशोधनाचा विषय आहे. तप्त वस्तूच्या सान्निध्यात असलेल्या हवेमध्ये विद्युतवहनक्षमता असते असे साधारणपणे दोनशे वर्षांपूर्वीच माहित झाले होते. लालभडक तापवलेला लोखंडाचा गोळा, ऋणविद्युतभार धारण करू शकतो व धनविद्युतभार धारण करू शकत नाही असे गथ्रीने दाखवले होते. भिन्नभिन्न दाबाखाली असलेल्या निर-निराळ्या वायूमध्ये विविध धातूंच्या तप्त तारांच्या सान्निध्यात विद्युतवहनक्षमता नसलेला पत्रा ठेऊन, त्यावर कोणता धन की ऋण विद्युतभार येतो हे अेल्स्टर आणि गीटेल यानी अभ्यासले. त्याना जे काही आढळले त्यात भिन्नता असली तरी विशिष्टताही होती. तारांचे तपमान कमी व वायूवरील दाब जास्त असताना पत्र्यावर साधारणपणे धनविद्युतभार असायचा पण तपमान जास्त आणि दाब कमी असताना पत्र्यावर ऋणविद्युतभार असायचा.

या सुमारास सर जे. जे. थॉमसनने असे सिद्ध केले की निर्वातात प्रकाशमय झालेल्या कार्बन तंतूमधून उत्सर्जित होणारी विद्युत वाहून नेण्याचे काम ऋणकण करतात. ऋणविद्युतभारवाही प्लॅटिनमच्य ताराभोवतालच्या वायूमध्ये व त्या वायू-वरील दाबामध्ये फरक केला तरी त्या प्लॅटिनम तारेपासून मिळणाऱ्या विद्युत प्रवाहात काही फरक होत नाही असे मॅक्क्लेलंडला आढळले. तप्त तारेभोवतालच्या वायू-वरील दाब अतिशय कमी असल्यास मात्र, प्लॅटिनम तारेपासून मिळणाऱ्या विद्युतप्रवाहात थोडासा फरक दिसून येतो. ही गोष्ट मुद्दाम लक्षात घेण्यासारखी आहे असे मला वाटले, व म्हणून या विषयीच्या संशोधनास मी सुरवात केली. तप्त वस्तू भोवतालचे वायुरेणू व तप्त वस्तू यांच्या परस्पराबरोबर झालेल्या प्रक्रियेने आयन व ऋणकण निर्माण होतात व हे आयन आणि ऋणकण विद्युत वहनाचे कार्य करतात असे मत त्यावेळी व्यक्त केले जात असे. तप्त वस्तूबरोबर वायुरेणूंची होणारी प्रक्रिया कोणत्या प्रकारची आहे फक्त औष्णिक प्रक्रिया आहे की गतिक ऊर्जेचा तो आविष्कार आहे की काही तरी वैद्युती प्रक्रिया आहे की त्या प्रक्रियेत विकरण भाग घेतात. – इत्यादी प्रश्न त्यावेळी अनुत्तरित होते. उत्तम प्रकारच्या निर्वातात ज्या काही घटना व जे परिणाम दिसून आले त्याचे कारण निर्वात संपूर्ण नसून, काही तरी थोडा वायू आतमध्ये राहून गेल्याने त्या घटना व ते परिणाम दिसून येतात असे वाटत होते. हे कारण खरे असण्याची शक्यताही नाकारता येत नव्हती. परंतु तप्त तारातून उत्सर्जित होणाऱ्या विजेचा, तप्त वस्तू आणि त्याभोवतालचे वायुरेणू यामध्ये होणाऱ्या प्रक्रियेशी काही संबंध नाही असे मला वाटत होते. परंतु हेही खरे होते की ऋणविद्युतभारवाही ऋणकण आणि

धनविद्युतभारवाही आयनसुद्धा तप्त वस्तूमधूनच येत होते. धातूंच्या विद्युतवहन क्षमतेविषयी थॉमसन, राइके आणि ड्रुड यानी मांडलेल्या उपपत्तीशी जुळावा असा हा प्रकार होता. परंतु वायुरेणूंची तप्त वस्तूबरोबर होणाऱ्या प्रक्रियेची भानगड काढून टाकावी व त्यासाठी संपूर्ण निर्वातात तप्त वस्तूतून उत्सर्जित होणाऱ्या विद्युतचा अभ्यास करावा असे मी ठरवले. त्यावेळी हाताने चालवायचे पंप वापरून निर्वात तयार करावा लागत असे. नलिकांची बाजू आणि उपकरणाचे इतर भाग तप्त तारेमुळे तापू लागल्यावर, त्यातून वायू बाहेर पडत असल्याने, पंप चालवून निर्वात ठेवण्याचे काम अतिशय कंटाळवाणे होत असे. त्यावेळी टंग्स्टनच्या तारा नव्हत्या. खूप वरच्या तपमानापर्यन्त तापवता येण्यासारखा अेकच शुद्ध धातू त्यावेळी उपलब्ध होता, व तो म्हणजे प्लॅटिनम. तप्त प्लॅटिनम. पृष्ठभागाच्या दर अेककातून ऋणकणांचे उत्सर्जन होते असे मी १९०१ साली सिद्ध केले. प्लॅटिनमच्या पृष्ठभागातून उत्सर्जित होणाऱ्या ऋणकणांची संख्या तपमानावर अवलंबून असते व वाढत्या तपमानाने ती संख्या वाढत जाते. उत्सर्जित होणाऱ्या ऋणकणामुळे मिळणारा i हा बृहत्तम विद्युतप्रवाह आणि तारेचे T हे केवळ तपमान यांचा परस्पर संबंध

$$i = AT^{1/2} e^{-w/(kT)}$$

या समीकरणाने सांगता येतो. या. समीकरणात k हा बोल्ट्झमन स्थिरांक असून, A व w हे स्थिरांक वस्तूच्या विशिष्टतेवर अवलंबून असणारे स्थिरांक आहेत. या समीकरणाचे पुढील साध्या आधारतत्त्वांच्या सहाय्याने स्पष्टीकरण देता येते. तप्त धातू तारेच्या अंतर्भागात मुक्ततेने इथेतिथे फिरणारे ऋणकण धातुतारेच्या पृष्ठ–भागापर्यंत आल्यावर, त्यांची ऊर्जा भरपूर असल्यास म्हणजे पृष्ठभागाशी काटकोन करणाऱ्या दिशेत असणारी त्यांची गती, त्या ऋणकणाना पृष्ठभागाशी धरून ठेवायला अवश्य असणाऱ्या w या कार्यापेक्षा जास्त असल्यास पृष्ठभागातून उत्सर्जित होतात.

सोडीयम आणि कार्बन या दोहोंच्याही बाबतीत तेच निष्कर्ष काढता येतात असे मी १९०३ मध्ये दाखवले. याशिवाय मी असेही दाखवले की निरनिराळ्या पदार्थांचे कार्य फंक्शन किंवा कार्यशक्ती, त्या पदार्थाच्या पृष्ठभागविभव फरका–इतकी असायला पाहिजे.प्लॅटिनम आणि सोडीयम यांच्या पृष्ठभागविभव फरकाच्या अभ्यासावरून हा निष्कर्ष बरोबर ठरला. निरनिराळ्या पदार्थांच्या कार्यफंक्शनच्या

किंवा कार्यशक्तीच्या अभ्यासातून आणखीही अेक निष्कर्ष निघाला. मूलतत्त्वांचे कार्यफंक्शन (1/2) (e^2/d) च्या जोडीला बसेल इतके असते. यात e हा इलेक्ट्रॉनिक किंवा इलेक्ट्रॉनवरचा विद्युतभार असून, d ही अणूची त्रिज्या असते. त्याचा अर्थ अण्विक आकारमानाच्या घनमूळाच्या व्यस्त प्रमाणात, कार्य फंक्शनचे मूल्य असते. याच वर्षी वेबनेल्ट या संशोधकाच्या असे लक्षात आले की या सारखीच घटना काही धातू ऑक्साइडच्या बाबतीत दिसून येते. विशेष करून अल्कलाईन मृत्तिकागटातील धातू ऑक्साइडचे कार्य फंक्शन अतिशय कमी असते. म्हणजे त्यांच्या पृष्ठभागावर ऋणकण धरून ठेवायला कमी कार्य करावे लागते. आणि त्यामुळे या धातू ऑक्साइडमधून ऋणकणांचे उत्सर्जन फार उत्तम प्रकारे करता येते.

$i = AT^{1/2} e^{-W/KT}$ या समीकरणाच्या मुळाशी अेक कल्पना आहे. तप्त होत असलेल्या वस्तूमधून ऋणकण बाहेर पडत असतात या कल्पनेवर ते समीकरण मांडण्यात आले आहे. ही कल्पना जर बरोबर असेल तर विरोध करणाऱ्या अिलेक्ट्रोमोटिव्ह किंवा वैद्युती बलाच्या विरोधावर विजय मिळवून थर्मआयोनिक विद्युतप्रवाह मिळायला पाहिजे. म्हणजे तप्त वस्तूतून बाहेर पडणाऱ्या ऋणकणामुळे विद्युतप्रवाह मिळायला पाहिजे व त्यास काही तरी इलेक्ट्रोमोटिव्ह किंवा वैद्युतीबल असायला पाहिजे. असे म्हणण्याचे कारण वायुरेणूंच्या रुपाने असणाऱ्या ऋणकणाना उष्णतेमुळे गती प्राप्त होत असते व ऊर्जा असते. निराळ्या शद्बात हीच गोष्ट सांगायची असल्यास असे म्हणता येईल की ऋणकण आपल्याबरोबर काही वायुरेणू घेऊन गतीमान होतात. या शिवाय साध्या वायुरेणूविषयी जेवढी माहिती असते त्याहून जास्त माहिती आम्हाला ऋणकण वायुरेणूविषयी मिळविता आली. या ऋणकण वायुरेणूवर विद्युतभार असल्याने, त्यांची गती बाह्य विद्युतक्षेत्राने नियंत्रीत करता येते. विरुद्ध दिशेने कार्यवाहीत आणलेल्या विद्युतक्षेत्राविरुद्ध मिळणाऱ्या विद्युतप्रवाहाचे मापन करून तप्त वस्तूच्या पृष्ठभागाशी काटकोन करणाऱ्या दिशेत काही ठराविक वेगमर्यादेत उत्सर्जित होणाऱ्या ऋणकणांचे प्रमाण किती आहे हे काढता येते.

– – – –

ऋणकण उत्सर्जनाची उपपत्ती ठामपणे प्रस्थापित झाली असे म्हणण्याआधी आणखी दोन गोष्टींचे संशोधन करणे जरुर आहे. w या कार्य फंक्शनहून औष्णिक

ऊर्जा जास्त असल्याने, ऋणकण तप्त वस्तूतून जर खरोखरच बाहेर पडत असतील तर ऋणकण बाहेर पडल्याने तप्त वस्तूचे तपमान कमी व्हायला पाहिजे. पृष्ठ–भागावरच्या पाण्याचे बाष्पीभवन झाल्याने वस्तूचे तपमान उतरते यासारखा हा प्रकार आहे. ऋणकणउत्सर्जन झाल्याने वस्तूचे तपमान किती कमी व्हावे याविषयी गणित करून, त्याविषयीचे निष्कर्ष मी १९०५ मध्ये प्रसिद्ध केले. पण या विषयीचे प्रायोगिक संशोधन वेबनेल्ट आणि जेन्ट्झ यानी १९०९ मध्ये केले. वस्तूतून ऋणकण बाहेर पडल्याने तप्त वस्तूचे तपमान उतरते असे त्याना आढळले. पण तपमान किती उतरावे या विषयीचे माझे गणित आणि प्रयोगात आढळून आलेली तपमानातील घट यांचा मेळ बसेना. १९१३ मध्ये अेच्. अेल्. कुक व मी या दोघानी या प्रश्नाचा निकाल लावण्यासाठी अेक नवीन प्रायोगिक पद्धत सुच–विली आणि त्या पद्धतीप्रमाणे प्रयोग करून ऋणकणाचे उत्सर्जन झाल्याने तप्त वस्तूचे तपमान किती उतरते याचे मापन केले. वस्तूच्या तपमानाप्रमाणे थर्म – आयोनिक विद्युत प्रवाहात होणाऱ्या फरकावरून, कार्य फंक्शनच्या मूल्याशी प्रायोगिकरीत्या मिळालेले कार्य फंक्शनचे मूल्य ठीक जमले. आम्ही काढलेले निष्कर्ष बरोबर असल्याचे डेव्हीसन आणि गर्मर यानी सिद्ध केले आहे.

यानंतर आम्ही केलेला प्रयोग, आधी केलेल्या आमच्या प्रयोगांच्या अगदी उलट प्रकारचा प्रयोग आहे. विद्युत वाहकामध्ये जर बाहेरून ऋणकण प्रवाह आला, तर त्यामुळे उष्णतेची निर्मिती व्हायला पाहिजे आणि ही उष्णता निर्मिती ऋणकणांच्या तपमानावर किंवा ज्या अल्पशा विभव फरकामुळे ऋणकण विद्युतवाहकाकडे येतात त्यावर अवलंबून राहाणार नाही. ऋणकणांच्या ह्या परिणामांचे शोधन आणि मापन करण्यासाठी मी अेच्. अेल्. कुकच्या सहाय्याने अेका नवीन प्रकारच्या उपकरणाची योजना केली आणि ते उपकरण वापरून १९१० ते १९१३ या काळात त्या परिणामाचे मापन केले. इतर दोन पद्धतीनी काढलेले कार्य फंक्शनचे मूल्य आणि आम्ही नवीन पद्धतीने काढलेले मूल्य यात अेकवाक्यता होती.

तप्त वस्तूतून होणारे ऋणकण उत्सर्जन, तप्त वस्तू आणि ती भोवतालचा वायू यामध्ये होणाऱ्या रासायनिक अभिक्रियेचा अेक अनुषंगिक परिणाम आहे असे मत साधारणपणे १९१३ पर्यंत मांडले जात असे. खरा प्रकार तसा नाही व तप्त वस्तूतून होणारे ऋणकणउत्सर्जन भौतिक शास्त्रात मोडणारा अेक प्रकार आहे

असे सिद्ध करणारा पुरावा वाढत्या प्रमाणात उपलब्ध होत असून सुद्धा लोक जुन्या मतास चिकटून होते हे विशेष. १९१३ मध्ये तन्य टंग्स्टन धातूचा शोध लागल्या-वर आणि संपूर्ण निर्वातात किंवा यावेळपावेतो शक्य होते त्याहून अधिक चांगल्या निर्वातात, खूप मोठे विद्युतप्रवाह वापरणे शक्य झाले. तेव्हा तप्त वस्तूतून उत्सर्जन झालेल्या ऋणकणांचा भार, रासायनिक अभिक्रिया घडताना वापरल्या जाणाऱ्या संयुगांच्या भाराहून जांस्त असल्याचे आम्ही दाखवले.

- - - -

यानंतर रिचर्डसनने दुसऱ्या अेका प्रश्नाकडे विशेष लक्ष पुरवले. रासायनिक, अभिक्रिया घडून आल्यानंतर विद्युत उत्सर्जन या प्रश्नाचा त्याने अभ्यास सुरू केला. या प्रश्नाचा इतिहास अठराव्या शतकाच्या उत्तरार्धात सुरू होतो. १७८१ मध्ये व्होल्टा, अॅन्टॉइने लॅव्हॉयजिअे आणि पियर लाप्लेस याना असे आढळून आले की, कोळशाच्या ज्वलनामध्ये, लोखंडाच्या किसाची सौम्य सल्फ्युरिक अम्लाबरोबर अभिक्रिया झाल्याने किंवा पाण्याच्या बाष्पीभवनामुळे ऋणविद्युत निर्माण होते. ज्या पात्रात प्रयोग करायचे ती पात्रे धातूच्या पत्र्यावर ठेवून व त्या पत्र्यातून सहजरीत्या विद्युत बाहेर जाऊ नये यासाठी तो पत्रा विद्युतवहनक्षमता नसलेल्या पदार्थावर ठेवून, तो धातूचा पत्रा अेका तारेद्वारे व्होल्टाने विद्युतमापीला जोडला. हा विद्युतमापी काही वर्षापूर्वी व्होल्टानेच शोधून काढला होता. प्रयोग करून पाहाता, विद्युतमापीने ऋणविद्युतनिर्मितीची नोंद केली. आढळून आलेल्या घटनेचे व्होल्टाने अगदी साधेसुधे स्पष्टीकरण दिले. बाष्पस्थितीत पदार्थ गेल्यावर जशी त्यामध्ये 'कॅलॉरिक फ्ल्युइड' किंवा उष्णता धारण करण्याची क्षमता, त्याच पदार्थाच्या घन किंवा द्रव स्थितीतल्या धारणक्षमतेहून जास्त असते त्याप्रमाणे पदार्थ बाष्पस्थितीत गेल्यावर त्याची 'इलेक्ट्रिक फ्ल्युइड' धारण कर-ण्याची क्षमता वाढते. त्यामुळे बाष्प स्थितीत गेलेला पदार्थ मूळ पदार्थातून 'इलेक्ट्रिक फ्लुइड' आपल्याकडे ओढून घेतो आणि त्यामुळे मूळ पदार्थात ऋणविद्युत राहाते.

त्या उलट क्लॉड पॉइलेटला १८२७ मध्ये असे आढळून आले की पाण्यामध्ये क्षार किंवा तत्समपदार्थ विरघळवलेला असला तरच, त्या पाण्याचे बाष्पीभवन केल्यावर विद्युतनिर्मिती होते. ही विद्युतनिर्मिती काही तरी रासायनिक प्रक्रिये-मुळे घडून येत असावी असे मत त्याने प्रदर्शित केले. त्यानंतर कार्लो मॅटॉकी

(१८००-१८६८) या संशोधकाला असे आढळून आले की फॉस्फरसवरून धाडलेल्या हवेमध्ये विद्युतभारवाही वस्तूतील विद्युतचे विसर्जन करण्याचा गुणधर्म येतो. परंतु अेकोणिसावे शतक संपायला येईपर्यन्त या विषयी पद्धतशीर संशोधन झाले नव्हते नंतर वायूंचे आयनीकरण अभ्यासण्यासाठी जे तंत्र वापरण्यात आले त्या तंत्राच्या सहाय्याने याविषयी संशोधन करता असे आढळले की रासायनिक प्रक्रियेने किंवा विद्युत विभाजनासारख्या वैद्युती प्रक्रियेने मिळवलेल्या वायूमध्ये जवळ जवळ नेहमीच धन आयन असतात. फॉस्फरसवरून धाडलेल्या हवेची विद्युतवहनक्षमता तीमध्ये असणाऱ्या आयनामुळे आहे व हवेचे आयनीकरण रासायनिक प्रक्रियेमुळे होत असते असे यानंतर समजून आले. रासायनिक दृष्टचा सुरत किंवा अप्रक्रियाशील वाभू फॉस्फरसवरून धाडल्यास, त्या वायूमध्ये विद्युतवहनक्षमता येत नाही. यामुळे वरील निष्कर्षास पुष्टी मिळते.

१९०० ते १९०३ या कालखंडामध्ये रिचर्डसनने तप्त वस्तूतून विद्युत विसर्जन या विषयी मूलभूत स्वरूपाचे संशोधन केले असल्याने, साहाजिकच त्याने त्यानंतर आयन-उत्सर्जनाच्या या घटनेकडे आणि त्या आयन उत्सर्जनावर तपमानाचा काय परिणाम दिसून येतो याकडे लक्ष पुरविले. आयन उत्सर्जनाविषयी संशोधन करून मिळवलेली माहिती त्याने १९०५ साली प्रसिद्ध केली. प्लॅटिनम आणि फॉस्फरस बाष्प यामध्ये ६००^{0} से. ला जोरदार अभिक्रिया घडून येते व त्या अभिक्रियेमुळे प्लॅटिनममधून धनआयनांचे उत्सर्जन होते आणि फॉस्फरस बाष्पाच्या सान्निध्यात प्लॅटिनम खालच्या तपमानास ठेवलेले असले तर ६००^{0} से. ला होणाऱ्या धन आयन उत्सर्जनाचा वेग वाढतो असे त्यास आढळले.

याच सुमारास अशाच प्रकारच्या आयन उत्सर्जनाचे प्रकार इतर संशोधकांच्याही लक्षात आले. बहुतेक सर्व प्रसंगी उत्सर्जित आयन अधिक आकारमानाचे होते आणि काही थोडचा संशयास्पद रासायनिक प्रक्रिया सोडल्यास, उत्सर्जित आयन नेहमीच धन आयन होते. फक्त रासायनिक प्रक्रियेमुळे ऋणकण उत्सर्जन होत आहे असा अेकही प्रकार १९०९ पर्यंत मिळाला नव्हता. परंतु त्या वर्षी म्हणजे १९०९ मध्ये हावर आणि जस्ट यानी सोडीयम व पोटॅशियमच्या द्रवरूप मिश्र-धातूची, कमी दाबाखाली असलेले काही वायू व बाष्प यांच्याबरोबर रासायनिक अभिक्रिया झाल्यास, ऋणविद्युतउत्सर्जन होते आणि त्या ऋणविद्युतउत्सर्जनाचे कारण ऋणकण उत्सर्जन होय असे शोधून काढले. अमेरिकेहून इंग्लंडला परत येऊन लंडनच्या किंग्ज कॉलेजमध्ये या विषयासंबंधी संशोधन करायला रिचर्डसनने

सुरवात करण्याआधी या विषयीचे संशोधन हावर आणि जस्ट यांच्या गोव्रापर्यंत आले होते. त्यानंतर बरीच वर्षे अत्यंत काळजीपूर्वक संशोधन करून हावर व जस्ट यांचे निष्कर्ष बरोबर असल्याचे रिचर्डसनने सिद्ध केले. अेवढेच नाही तर उत्सर्जित ऋणकणांची ऊर्जाही त्याने मोजली. ही सर्व माहिती त्याने लंडनच्या रॉयल सोसायटीत १९२० साली वाचलेल्या संशोधन निबंधात आहे.

१९०६ मध्ये रिचर्डसन अमेरिकेच्या प्रिन्सटन विद्यापीठात प्राध्यापक म्हणून गेला. त्यावेळी ऋणकण उपपत्ती नव्यानेच मांडली गेली होती. तरी सुद्धा सर जे. जे. थॉमसनने १९०४ साली अणुरचनेसंबंधी अेक उपपत्ती मांडली होती. धनविद्युतभार असणाऱ्या अेकरूप गोलामध्ये ऋणकण फिरत असतात, असे थॉमसनचे म्हणणे होते. ऋणकण धनविद्युत-भार धारण करणाऱ्या अणुगर्भाभोवती फिरत असतात ही उपपत्ती त्या-नंतर सात वर्षांनी १९११ मध्ये मांडली गेली आहे. चुंबकत्वाचे स्पष्टीकरण देण्या-साठी पॉल लँगेव्हिन या संशोधकाने ऋणकण उपपत्ती प्रथमतः वापरली. १९०५ साली फ्रान्समध्ये प्रसिद्ध झालेला लँगेव्हिनचा संशोधन निबंध अेक मूलभूत स्वरुपाचा, महत्वपूर्ण संशोधन निबंध म्हणून मान्य झाला आहे. १८५० मध्ये विल्हेम वेबर या शास्त्रज्ञाने चुंबकत्वाविषयी मांडलेल्या कल्पनांचा विस्तार करून लँगेव्हिनने त्या कल्पनात जास्त अचूकता आणली होती. वेबरनेही आपल्या कल्पना अॅम्पियरच्या कल्पनांच्या आधारे मांडल्या होत्या. तर विद्युत प्रवाहामुळे चुंबक-त्वावर होणाऱ्या परिणामाच्या अभ्यासातून १८२१ मध्ये ऑर्स्टेडने मिळवलेल्या माहितीच्या आधारे अॅम्पियरच्या कल्पना मांडल्या गेल्या होत्या. म्हणजे ऑर्स्टेड, अॅम्पियर, वेबर आणि त्यानंतर लँगेव्हिन अशी चुंबकत्वाविषयीच्या कल्पनांची वाटचाल होती. वेबरच्या उपपत्तीप्रमाणे लोहासारख्या चुंबकत्वाचे गुणधर्म दाखव-णाऱ्या पदार्थांचे रेणू सूक्ष्म चुंबकासारखे असतात व रेणू चुंबक असण्याचे कारण त्या रेणूभोवती रेण्विक विद्युतप्रवाहाऐवजी लँगेव्हिनने रेणूमध्ये वर्तुळाकार फिरणाऱ्या ऋणकणांची कल्पना मांडली. चुंबकत्व कसे निर्माण होते याची कल्पना वेबरच्या उपपत्तीत होती. पण तीवरुन काही गणिती अनुमाने काढता येत नव्हती. ऋण-कणाचा भार आणि त्यावरचा विद्युतभार बरेचसे अचूक माहित झाले असल्याने लँगेव्हिनने त्या माहितीचा चुंबकत्वाविषयी गणिती अनुमाने काढण्यासाठी उपयोग केला.

अशाच प्रकारची गणिती अनुमाने १९०७ साली रिचर्डसनने काढली व शास्त्रज्ञापुढे मांडली. रिचर्डसनने काढलेली गणिती अनुमाने

विशेष महत्त्वाची आहेत. ती गणिती अनुमानें प्रयोगानी सिद्ध झाल्याने, ऋणकण अणुगर्भाभोवती वर्तुळाकार फिरत असतात या कल्पनेच्या आधारे मांडलेल्या उपपत्तीला पुष्ठी देणारा स्वतंत्र पुरावा मिळाला. वस्तूचे चुंबकीय गुणधर्म त्या वस्तूच्या अणूतील घटक ऋणकणांच्या गतीमुळे निर्माण होतात ही उपपत्ती मान्य केल्यास लोहाच्या बारीकशा सळीमध्ये चुंबकत्व आण–ल्यास, ते करण्यामुळे त्या सळीमध्ये क्षणिक पीळ येईल असे मत त्याने व्यक्त केले. तो पीळ किती असावा हेही त्याने गणिताने काढले. या क्षणिक पीळाला त्याने गायरो मॅग्नेटिक परिणाम असे नाव दिले व तो ऋणकणाचा भार आणि ऋण–कणावरील विद्युतभार यांच्या अेककात मांडला. या गायरो-मॅग्नेटिक परिणामाचे प्रायोगिक शोधन आणि मापन अत्यंत कठीण आहे. पृथ्वीच्या चुंबकीय क्षेत्रा–सारख्या बाह्य चुंबकीय क्षेत्राचा परिणाम मापन करायला घेतलेल्या वस्तूवर होऊ नये याची काळजी घेणे अत्यंत अवश्य होते. तसे न केल्यास, वस्तूमध्ये चुंबकत्व आणल्यावर, बाह्य चुंबकीय क्षेत्रामुळे त्या वस्तूला जे वळण मिळणार होते, त्या वळणामुळे अत्यंत सूक्ष्म प्रमाणात वस्तूमध्ये निर्माण झालेला क्षणिक पीळ लक्षात आला नसता. रिचर्डसन १९१४ मध्ये इंग्लंडला परतला, त्यावेळी त्याने अनु–मानलेल्या व चुंबकीकरणामुळे वस्तूमध्ये निर्माण होणाऱ्या क्षणिक पीळाचे प्रायो–गिक शोधन आणि मापन करण्याचा प्रयोग करण्यात आला नव्हता. पण प्रिन्सटन विद्यापीठातून निघण्यापूर्वी, हा प्रयोग करण्याविषयीची सर्व तयारी झाली होती. हा प्रयोग कसा करायचा याबद्दलच्या सर्व सूचना आपल्या अमेरिकन सहकाऱ्यांना देऊन रिचर्डसनने त्या विद्यापीठाचा निरोप घेतला. सरतेशेवटी १९१७ च्या जुलै महिन्यात जॉन स्टचुअर्टने तो प्रयोग यशस्वीरीत्या पार पाडला. त्या प्रयोगाची व त्या प्रयोगातून मिळालेल्या निष्कर्षांची माहिती १९१८ च्या फिझिकल रेव्ह्यू नियतकालिकात आहे. परंतु चुंबकीकरणामुळे वस्तूमध्ये निर्माण झालेल्या क्षणिक पीळाचे मापन करता, तो पीळ रिचर्डसनने अनुमानलेल्या पिळाच्या निम्मा अस-ल्याचे दिसून आले.

प्रिन्सटन विद्यापीठात जॉन स्टचुअर्टने आपला प्रयोग यशस्वीरीत्या पार पाड–ण्याआधी १९१५ मध्ये आइनस्टाइन आणि डब्ल्यू. जे. डीहास यानी अेका गळ्या अप्रत्यक्षपद्धतीने चुंबकीकरणामुळे वस्तूमध्ये निर्माण होणाऱ्या क्षणिक पिळाचे मापन केले होते, त्यावेळी रिचर्डसनने अनुमानलेले उत्तर बरोबर असल्याचे दिसून आले होते परंतु स्टुअर्टला आइनस्टाइनने केलेला प्रयोग माहित नव्हता. त्यामुळे त्याने रिचर्डसनच्या सूचनाप्रमाणे प्रयोग करून चुंबकीकरणामुळे वस्तूमध्ये निर्माण होणाऱ्या

पिळाचे मापन केले होते. गायरोमॅग्नेटिक परिणामाचे गणित रिचर्डसनने प्रथमतः मांडले असल्याने त्या परिणामाला रिचर्डसन परिणाम असे नाव पडले होते. आइन-स्टाइन व डीन्हास यानी त्या परिणामाचे प्रायोगिक मापन केल्यावर त्या गायरो-मॅग्नेटिक परिणामास आइनस्टाइन–डी हास परिणाम असे नाव मिळाले. जुन्या यंत्रशास्त्राच्या नियमांच्या आधारे रिचर्डसनने गायरोमॅग्नेटिक परिणामाचे गणित मांडले होते. नवीन क्वांटम मेकॅनिक्स शास्त्राच्या आधारे हे गणित केल्यास, मिळालेले उत्तर, स्टयुअर्टला मिळालेल्या मूल्याशी जुळते. हेच उत्तर अेस. जे. बार्नेट या संशोधकानेही काढले आहे. वृत्तचिती गरगर फिरवित राहिल्यास, तीमध्ये चुंबकत्व येते असे १९१४ मध्ये बार्नेटने शोधून काढले असून बार्नेटला आढळून आलेली घटना रिचर्डसन परिणामाच्या बरोबर उलट प्रकारची घटना आहे.

संशोधनाचे परिणाम

रिचर्डसनच्या संशोधनाला औपपत्तिक महत्त्व तर आहेच, शिवाय तप्त वस्तू-तून ऋणकण उत्सर्जन या विषयी केलेल्या संशोधनाचा तंत्रविज्ञानात खूप उपयोग झाला. सर अॅम्ब्रोज फ्लेमिंगने तयार केलेला थर्म–आयोनिक व्हाल्व्ह, आकाश-वाणीच्या कामासाठी नेहमीच वापरला जातो. सध्याच्या आधुनिक क्ष-किरण नलिकेमध्ये टंग्स्टनचे तंतू विजेचे सहाय्याने तापवून, मिळालेले ऋणकण ' कॅथोड किरण ' म्हणून वापरण्यात येतात. रडार यंत्रामध्ये व दूरदर्शन यंत्रामध्ये अवश्य असलेला कॅथोड-रे ऑस्सिलेटर हाही रिचर्डसनच्या संशोधनातून निघालेला शोध आहे. थर्म-आयोनिक व्हाल्व्ह, आधुनिक क्षकिरण नलिका आणि कॅथोड रे ऑस्सि-लोग्राफ हे तीनही शोध रिचर्डसनच्या संशोधनातूनच निघाले आहेत.

१९२९

प्रिन्स लुई व्हिक्टर डी ब्रॉली

(१८९२ -)

" ऋणकणांच्या तरंगीय गुणधर्मांचा शोध लावल्याबद्दल नोबेल पारितोषिक "

चरित्र

१५ ऑगस्ट १८९२ रोजी डीप या फ्रेंच शहरात प्रिन्स लुई व्हिक्टर डी ब्रॉलीचा जन्म झाला. पॅरीसमधील जॅनसन डी सॅली लायसीमध्ये व त्यानंतर सॉरबॉन विद्यापीठात त्याचे शिक्षण झाले. १९१० मध्ये इतिहास हा विषय घेऊन तो वाङमय शाखेचा पदवीधर झाला. त्यानंतर त्याने विज्ञान विषयांचा अभ्यास सुरू केला, व १९१३ मध्ये तो विज्ञानशाखेचा पदवीधर झाला त्यानंतर लवकरच पहिले महायुद्ध सुरू झाल्याने, त्याने फ्रेंच सैन्यात प्रवेश मिळविला. महायुद्ध काळात फ्रेंच सैन्याच्या बिनतारी तारायंत्र विभागात व त्यातल्या त्यात अीफेल स्तंभावर असणाऱ्या तारायंत्र केन्द्रात काम केले.

महायुद्ध संपल्यानंतर त्याने विज्ञान विषयांचा युद्धामुळे अर्धवट सुटलेला अभ्यास पुन्हा नव्याने सुरू केला व तात्त्विक भौतिकीशास्त्रावर आपले लक्ष केन्द्रित केले. त्यावेळी त्याचा भाऊ मॉरिस याचे क्षकिरणविषयीचे संशोधन चालू होते. त्याच्या संशोधनातही त्याने लक्ष घातले व क्षकिरणांची माहिती करून घेतली. त्यानंतर क्वांटम उपपत्तीविषयी संशोधन ग्रंथ लिहून त्याने १९२४ साली डी. अेस्सी. पदवी संपादन केली. या संशोधन ग्रथातून त्याच्या वेव्ह मेकॅनिक्स किंवा तरंग यंत्रशास्त्र या नवीन विषयाची प्रथमत:च नव्याने मांडणी केली होती व तेव्हापासून वेव्ह मेकॅनिक्स हा अेक स्वतंत्र विषय म्हणून ओळखला जाऊ लागला. १९२८ मध्ये

सॉरबॉन विद्यापीठाने नव्याने सुरू केलेल्या हेन्री पॉइन्कारे इन्स्टिटयूटमध्ये त्यास तात्त्विक भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक नेमण्यात आले. १९३२ मध्ये त्यास सॉरबॉन विद्यापीठाच्या विज्ञान विभागात प्राध्यापक नेमण्यात आले व तेथेच त्याने त्यापुढचे संशोधन केले.

१९३३ मध्ये त्यास फ्रेंच सायन्स अॅकेडमीचे सभासदत्व मिळाले. १९४२ मध्ये तो त्या सायन्स अॅकेडमीचा चिटणीस झाला.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

प्रकाश कणस्वरूपी असतो अशी उपपत्ती न्यूटनने मांडली होती. अेकोणिसाव्या शतकाच्या सुरवातीस न्यूटनची ती उपपत्ती मागे पडली व तिची जागा एका नव्या उपपत्तीने घेतली. प्रकाशमय होणाऱ्या ईथरमधील आडवे तरंग म्हणजे प्रकाश होय असे या नवीन उपपत्तीचे म्हणणे होते. नीलातीत किरण धातूच्या पट्टीवर पडल्यास, त्या पट्टीमधून ऋणकण उत्सर्जित होतात असे अेकोणिसावे शतक संपता संपता आढळून आले. नीलातीत किरण धातुपट्टीवर पडल्यावर तीतून ऋणकण उत्सर्जित होण्याच्या घटनेस फोटो-इलेक्ट्रिक इफेक्ट किंवा प्रकाशीय-विद्युत परिणाम असे नाव मिळाले. या प्रकाशीय-विद्युत परिणामाविषयी संशोधन करून लेनार्डने १९०२ साली असे शोधून काढले की धातुपट्टीवर पडणाऱ्या प्रकाशाची तीव्रता कितीही असली तरी धातुपट्टीतून उत्सर्जित होणाऱ्या ऋणकणांच्या ऊर्जेत काहीही फरक होत नाही. प्रकाशाच्या तरंग उपपत्तीच्या दृष्टीने लेनार्डचा शोध शास्त्रज्ञांच्या मनात गोंधळ करायला कारणीभूत झाला. लेनार्डच्या शोधाचे समाधानकारक व सध्या मान्य असलेले स्पष्टीकरण १९०५ मध्ये आइन्स्टाइनने दिले. पण ते स्पष्टीकरण देण्यासाठी काही आधारतत्त्वे मान्य करावी लागली. धातूवर पडणारा प्रकाश आपली ऊर्जा क्वांटामध्ये किंवा पुडक्या पुडक्यानी ऋणकणाना देतो व प्रत्येक प्रकाश पुडक्याचे मूल्य प्लँकचा स्थिरांक h गुणिले धातूवर पडलेल्या प्रकाशाची वारंवारता इतके असते असे गृहीत धरूनच आइन्स्टाइनने आपले स्पष्टीकरण दिले होते. आइन्स्टाइनने मान्य केलेल्या आधारतत्त्वामुळे प्रकाशाला कणांचे गुणधर्म आहेत असे ठरत होते त्यानंतर १९२३ मध्ये कॉम्प्टन परिणामाचा शोध लागला. त्या कॉम्प्टन परिणामाचे स्पष्टीकरणही आइन्स्टाइनच्या आधारतत्त्वाना धरूनच देता येत होते. म्हणजे एकीकडे प्रकाश तरंगस्वरूपी आहे असे म्हणायचे व दुसरीकडे त्यास कणांचे गुणधर्म आहेत असे म्हणायचे असा द्वर्थी व दुटप्पी प्रकार होत

होता. अशा तऱ्हेने परस्पराशी विरुद्ध अशा दोन उपपत्ती एकाच वेळी प्रकाशाच्या गुणधर्मांचे स्पष्टीकरण देण्यासाठी मांडण्यात येत होत्या. प्रकाशाच्या कोणत्या गुणधर्माचे स्पष्टीकरण द्यायचे त्या गुणधर्माप्रमाणे प्रकाश कणस्वरूपी आहे व प्रकाश तरंगस्वरूपी आहे असे म्हणण्यात येत होते.

प्रकाशाचे स्वरूप स्पष्ट करण्यामध्ये काही अडचणी येत होत्या तरी वस्तू-मात्रांचे अंतिम स्वरूप काय याबद्दल फारसा मतभेद विसाव्या शतकाच्या सुरवाती-पर्यन्त दिसून आला नाही. प्रोटॉन किंवा धनकण व इलेक्ट्रॉन किंवा ऋणकण यांच्या एकत्र येण्यामुळे वस्तूमात्रनिर्मिती होते या गोष्टीस मान्यता होती. अणू-मध्ये अणुगर्भ व अणुगर्भाबाहेरील भाग असे दोन भाग असतात. धनकण व ऋणकण मिळून अणुगर्भ तयार होतो, आणि सूर्याभोवती निरनिराळे ग्रह वेगवेगळ्या कक्षात फिरतात त्याप्रमाणे अणुगर्भाभोवती ऋणकण निरनिराळ्या कक्षात फिरत असतात. ऋणकण कोणत्या कक्षेत व किती वेगाने फिरणार हे काही ठराविक तत्त्वांच्या आधारे ठरत असते. अणुरचनेविषयीच्या त्यावेळी मान्य असलेल्या कल्पना अशा प्रकारच्या होत्या. अणूंच्या आढळून आलेल्या गुणधर्मांचे व त्यातल्या त्यात त्यांच्या वर्णपटाचे स्पष्टीकरण या कल्पनांच्या आधारे करता येत होते. तरी १९२० च्या आसपास ह्या कल्पना काही बाबतीत अपुऱ्या आहेत असे वाटू लागले होते.

१९२३ च्या सुमारास डी ब्रॉलं ने वस्तुमात्रांचे अंतिम स्वरूप काय असावे याचा वेगळ्याच दृष्टिकोनातून विचार करायला सुरवात केली. प्रकाशाला कण-सदृश गुणधर्म आहेत असे म्हणत असत, तर वस्तुमात्रांच्या अंतिम कणाना तरंग-सदृश गुणधर्म आहेत असे आता डी ब्रॉलीने म्हटले. वस्तुमात्राच्या अंतिम कणाशी म्हणजे उदाहरणार्थ 'वस्तुमात्र तरंग' संबंधित असतात असे मानून कणाना प्राप्त झालेली गती ही निरनिराळी गती असलेल्या तरंगांचे एकत्रित स्वरूप आहे. काही ठराविक व नियमबद्ध अंतरावर निरनिराळे तरंग एकत्र आल्याने तरंगशिखर तयार होते. नंतर ते कमी होत जाते व काही अंतर गेल्यावर पुन्हा तसलेच तरंग शिखर तयार होते. ज्या वेगाने ही तरंगशिखरे तयार होत जातात तो वेग समूह-वेगा-सारखा आहे व ज्या निरनिराळ्या तरंगांच्या एकत्र येण्याने तरंग शिखरे तयार होत असतात, त्या भिन्न भिन्न तरंगांच्या वेगाहून तो समूह वेग अगदी वेगळा आहे. कणाचा वेग हा समूह वेगाइतका आहे असे डी ब्रॉलीने दाखवले. निरनिराळ्या तरंग शिखरातील अंतर हे वस्तुमात्र तरंगांच्या तरंगलांबीइतके आहे. या तरंगलांबीला

डी ब्रॉलीची आठवण म्हणून डी ब्रॉली तरंगलांबी असे नाव मिळाले आहे. ज्याप्रमाणे एखाद्या तरंगाचे वैशिष्ठ्य त्याच्या तरंगलांबीत आहे, त्याप्रमाणे गती प्राप्त झालेल्या कणाचे वैशिष्ठ्य त्याच्या संवेगामध्ये म्हणजे कणाचा भार गुणिले वेग (mv) यांच्या गुणाकारामध्ये आहे. वस्तुमात्र तरंगाची तरंगलांबी व त्याशी संबंधित असलेल्या कणाचा संवेग mv यांच्यामधील संबंध

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

या समीकरणाने दाखवता येतो असे डी ब्रॉलीने दाखवले. यात h हा प्लँकचा स्थिरांक आहे. दर सेकंदाला शंभर सेन्टीमीटर वेग असणाऱ्या ऋणकणाची डी ब्रॉली तरंगलांबी साधारण सात शतांश (०.०७) सेन्टीमीटर येते. रेडीयममधून बाहेर पडणाऱ्या अल्फा कणाची डी ब्रॉली तरंगलांबी साधारणपणे ७×१०^{-१३} सेन्टी-मीटर इतकी येते. ही लांबी म्हणजे साधारणपणे अणुगर्भाच्या व्यासाइतकी लांबी होते.

नोबेल पारितोषिकाचा स्वीकार केल्यानंतर डी ब्रॉलीने फ्रेंच भाषेत आपल्या संशोधनाची माहिती दिली गतीमान कणाना तरंगसदृश गुणधर्म आहेत असे प्रति-पादन करणारी उपपत्ती आपण का मांडली हे त्याने त्या व्याख्यानात सांगितले आहे. त्या व्याख्यानातील काही भाग पुढे दिला आहे. त्या व्याख्यानाच्या जोडीला श्रॉडिंजरने नोबेल पारितोषिकाचा स्वीकार केल्यानंतर १९३३ साली दिलेले व्याख्यान वाचल्यास वेव्ह मेकॅनिक्स किंवा तरंग-यंत्रशास्त्र या विषयाची बरीचशी माहिती मिळेल.

" १९२० साली विज्ञानविषयांच्या अभ्यासास मी पुन्हा एकदा सुरवात केली. त्यावेळी माझे लक्ष क्वांटम उपपत्तीने वेधून घेतले. वस्तुमात्र व विकिरण यांच्या रचनेस, प्लँकने मांडलेली क्वांटम उपपत्ती लावण्यास सुरवात झाली होती. कृष्णवर्ण वस्तुमात्र विकिरणाविषयी संशोधन करीत असता, प्लँकने ही उपपत्ती प्रथमतः मांडली होती. व हळू हळू करीत भौतिकीशास्त्राच्या सर्व विभागात ती वापरायला सुरवात झाली होती. क्वांटम उपपत्तीचे गूढ समजावून घेण्याचा मी प्रयत्न केला.

– – – –

अतिशय वेगाने जाणारे अतिसूक्ष्म कण असे प्रकाशाचे स्वरूप आहे की काय या प्रश्नाचे उत्तर शोधण्यासाठी भौतिकीशास्त्रज्ञांचे प्रयत्न चालू होते. अठराव्या

शतकात अतिवेगवान कण म्हणजे प्रकाश या कल्पनेचा न्यूटनने पुनरुच्चार केला होता. थॉमस यंग याने इंटरफेरन्स किंवा प्रकाशकिरणांचा परस्परास प्रतिरोध शोधून काढल्यानंतर व त्यासंबंधी ऑगस्टिन फ्रेस्नेल याने उत्कृष्ट प्रकारचे संशोधन केल्यानंतर, प्रकाश कणस्वरूपी असतो ही उपपत्ती बाजूस पडली व तिची जागा तरंग उपपत्तीने घेतली व तीच उपपत्ती बरोबर आहे असे सांगण्यात येऊ लागले. प्रकाश कणस्वरूपी असतो ही उपपत्ती भौतिकीशास्त्राच्या प्रकाशविभागातून काढून टाकली गेली तरी घन, द्रव किंवा वायुरूप वस्तुमात्रांच्या गुणधर्मांचे स्पष्टीकरण देण्यासाठी कण उपपत्त्या वाढत्या प्रमाणात रसायनशास्त्रात आणि भौतिकीशास्त्रात वापरल्या जाऊ लागल्या. या कण उपपत्तीतून वायूच्या गतिक उपपत्तीचा उदय झाला व त्या गतिक उपपत्तीच्या सहाय्याने थर्मोडायनॅमिक्समधली किंवा उष्मा गतिकशास्त्रामधली प्रमेये मांडण्यात आली. विद्युत कणस्वरूपी असते हे सिद्ध करणारे प्रयोग सर जे. जे. थॉमसनने केले आहेत. विद्युत्कणाची कल्पना मान्य झाली असून, अेच्. ओ. लॉरेन्ट्झ या संशोधकाने ती कल्पना फार उत्कृष्टपणे हाताळली आहे.

तीसअेक वर्षापूर्वी भौतिकीशास्त्रज्ञ दोन भिन्न प्रकारे विचार करीत असत. वस्तुमात्रांच्या रचनेच्या बाबतीत कण उपपत्ती मान्य करून, त्या उपपत्तीला न्यूटनने मांडलेले यंत्रशास्त्राचे (Mechanics चे) नियम लागू पडतात असे समजत असत. तर कण उपपत्ती बाजूस सारून, तरंग उपपत्तीच्या आधारे विकिरणांचा विचार करीत असत. त्यासाठी प्रकाशमय विद्युतचुंबकीय ईथर किंवा अवकाश या काल्पनिक सतत माध्यमात तरग निर्मिती करता येते ही कल्पना आधारभूत समजत असत. पण या दोन भिन्न विचारपद्धती अगदी संपूर्णपणे परस्परापासून भिन्न राहाणे शक्य नव्हते. वस्तुमात्र आणि विकिरण यांच्यामध्ये उर्जेची देवाण-घेवाण होत असते अशी कल्पना मांडून त्या दोन उपपत्त्या अेकत्र आणाव्या लागल्या. कण-उपपत्ती व तरंग उपपत्ती हे भौतिकीशास्त्रातील दोन विचारप्रवाह अेकत्र आणताना अशा काही गोष्टीना मान्यता मिळाली की त्या गोष्टी मूळातच चूक होत्या किंवा औष्णिकदृष्ट्या अलग काढलेल्या पात्रातील वस्तुमात्र आणि विकिरण यांच्यामधील उर्जा समतोलाचा विचार करताना, त्याना मान्यता देणे शक्य नव्हते. प्रकाश-निर्मिती केन्द्र सातत्याने विकिरण उत्सर्जन करीत असते असे अभिजात पारंपारिक तरंग उपपत्तीत मानत असत. त्याअैवजी प्रकाश निर्मिती केन्द्र क्वांटामध्ये म्हणजे समान व ठराविक मापात विकिरण उत्सर्जन करीत असते अशी कल्पना प्लँकने मांडली.

प्लँकच्या कल्पनेप्रमाणे प्रत्येक क्वांटमच्या उर्जेचे मूल्य विकिरणाच्या वारंवारतेवर अवलंबून असते. म्हणजे w = उर्जा आणि v = विकिरणांची वारंवारता असल्यास, w = hv असे सूत्र मिळते. या सूत्रात किंवा समीकरणात h हा स्थिरांक असून, तो प्लँकच्या सन्मानार्थ प्लॅन्क स्थिरांक या नावाने ओळखला जातो.

प्लँकची कल्पना भौतिकीशास्त्रात यशस्वीरीत्या वापरता येत असल्याने, त्या कल्पनेचा गंभीरपणे विचार करणे भाग आहे. प्रकाशाचे उत्सर्जन क्वांटामध्ये होत असेल तर, उत्सर्जित प्रकाश कणस्वरूपी असतो का ? तेव्हा विकिरणांचे क्वांटा आहेत असे मान्य केल्यास, प्रकाश कणस्वरूपी असतो का या कल्पनेचा पुन्हा एकदा विचार करणे भाग आहे. त्याउलट जिआं व हेन्री पॉइन्कारे यानी असे सिद्ध केले आहे की प्रकाशनिर्मिती केन्द्रामध्ये कणांचे चलन अभिजात पारंपारिक यंत्रशास्त्रातील नियमाना धरून झाले तर कृष्णवर्ण वस्तुमात्र विकिरण विषयांचा प्लँकचा नियम आपल्याला मांडता येत नाही. तेव्हा जुन्या पारंपारिक यंत्रशास्त्रात आइन्स्टाइनच्या सापेक्षतावादाला धरून सुधारणा केली तरी ते यंत्रशास्त्र अत्यंत सूक्ष्म प्रमाणात होणाऱ्या गतीला लावता येत नाही असे समजावे लागते.

प्रकाश व त्यासारखे इतर विकिरण कणस्वरूपी असतात याचा पुरावा प्रकाशीय विद्युत परिणामाच्या शोधाने मिळाला. वस्तुमात्राच्या अेखाद्या भागावर क्षकिरणशलाका पडू दिली तर वस्तुमात्राच्या त्या भागातून जलदगती ऋणकणांचे उत्सर्जन सुरू होते. या ऋणकणांची गतिक उर्जा वस्तुमात्रावर पडणाऱ्या क्षकिरणांच्या वारंवारतेवर अवलंबून असते व क्षकिरणांची वारंवारता वाढल्यास उत्सर्जित ऋणकणांची उर्जाही वाढते उत्सर्जित ऋणकणांच्या उर्जेचा व क्षकिरणांच्या तीव्रतेचा मात्र काहीही संबंध असत नाही. ज्या वस्तुमात्रावर क्षकिरण पडतात त्या वस्तुमात्राच्या ऋणकणाना क्षकिरणरुपी विकिरणांच्या क्वांटा आपली सर्व ऊर्जा देऊ शकतात या कल्पनेच्या आधारे क्षकिरणांचो वारंवारता आणि ऋणकणांची ऊर्जा यांच्यातील संबंधाचे स्पष्टीकरण देता येते. तेव्हा प्रकाश क्वांटांच्या स्वरूपात असतो, ही १८७५ साली आइन्स्टाइनने मांडलेली उपपत्ती आपल्याला विचारात घ्यावी लागते आइन्स्टाइनच्या त्या उपपत्तीचा विचार करायचा म्हणजे वेगळ्या शब्दात प्रकाश कणस्वरूपी असतो या न्यूटनच्या उपपत्तीचा विचार करणे भाग आहे. अर्थात न्यूटनची उपपत्ती मूळ स्वरूपात विचारात न घेता त्या उपपत्तीच्या जोडीला उत्सर्जित कणांची ऊर्जा व विकिरणांची वारंवारता यामधील संबंधाचाही विचार करावा लागणार आहे. प्रकाश क्वांटास्वरूपी असतो ही उपपत्ती

मांडताना आइन्स्टाइनने तिला पुष्टीदायक अशा काही गोष्टी मांडल्या होत्या. आइन्स्टाइनने आपल्या म्हणण्याच्या समर्थनार्थ मांडलेल्या गोष्टी बरोबर आहेत याचा पुरावा १९२२ साली अे. अेच्. कॉम्प्टनने लावलेल्या शोधाने मिळाला. क्षकिरणांचे विकरण होते किंवा ते विखुरले जातात हे कॉम्प्टनने शोधून काढले. असे जरी होते तरी प्रकाशाचा प्रतिरोध व प्रकाशाचे वक्रीभवन या गोष्टींचे स्पष्टीकरण देण्यासाठी प्रकाशाची तरंग उपपत्तीच वापरावी लागत होती. तेव्हा प्रकाशाची तरंग उपपत्ती व प्रकाश कणस्वरूपी असतो या दोन गोष्टींचा कसा मेळ घालायचा हा अेक प्रश्नच होता.

अत्यंत सूक्ष्म प्रमाणात कणाना गती असल्यास, त्यांच्या बाबतीत अभिजात पारंपारिक यंत्रशास्त्र उपयोगी पडत नाही हे प्लँकच्या संशोधनाने सिद्ध झाले अशा अर्थाचे विधान मी या आधी केले आहेच. वस्तुमात्राचा अेक अत्यंत सूक्ष्मकण बंदिस्त प्रदक्षिणा मार्गाने फिरत आहे अशी कल्पना करा. पारंपारिक यंत्रशास्त्राप्रमाणे विचार करायचा असल्यास, अशा तऱ्हेने बंदिस्त प्रदक्षिणा मार्ग किती असावेत या संख्येला मर्यादा नाही. कणाची सुरवातीची काय स्थिती असेल त्या स्थितीवर अवलंबून अशा बंदिस्त प्रदक्षिणा मार्गांची संख्या अमर्याद असू शकेल, व अशा तऱ्हेने प्रदक्षिणा करणाऱ्या कणाच्या गतिक ऊर्जेची मूल्ये सतत वाढत्या अनुक्रमात असणार. प्लँकने या बाबतीत वेगळाच विचार मांडला आहे. कणाला अमर्याद किंवा असंख्य प्रदक्षिणा मार्ग उपलब्ध असले तरी तो काही ठराविक प्रदक्षिणा मार्गातच फिरणार. कणाच्या अशा ठराविक प्रदक्षिणा मार्गावरील गतीस प्लँकने क्वांटाइज्ड गती असे नाव दिले आहे. कणाला अशी क्वांटाइज्ड गती असल्यास कण स्थिरस्थिती असतो म्हणजे त्या कणाच्या स्थितीत अस्थिरता नसते. कणाला अशी क्वांटाइज्ड गती असल्यास, त्याच्या ऊर्जेची मूल्ये सतत अनुक्रमात असणार नाहीत. प्लँकची ही कल्पना त्यावेळी चमत्कारिक वाटली. पण त्या कल्पनेत काही तरी तथ्य आहे–अर्थ आहे असे लवकरच मान्य करावे लागले, कारण त्या कल्पनेच्या आधारावर प्लँकने कृष्ण वस्तुमात्र विकिरणाचा नियम अचूक मांडला. शिवाय प्लँकची ही कल्पना भौतिकीशास्त्राच्या इतर क्षेत्रातही उपयुक्त ठरली आहे. गती क्वांटामध्ये असते या कल्पनेला धरून बोरने अणुरचनेविषयीची सुप्रसिद्ध उपपत्ती मांडली आहे हेही येथे नमूद करावेसे वाटते.

तरंग उपपत्ती आणि कण उपपत्ती या प्रकाशाविषयीच्या दोन परस्परविरूद्ध उपपत्त्या ग्राह्य समजण्याची जरूरी आणि पारंपारिक यंत्रशास्त्राप्रमाणे इलेक्ट्रॉनला

किंवा ऋणकणाला संभाव्य असलेल्या असंख्य गतीपैकी काही ठराविकच गती शक्यतेच्या कोटीत आहे असे का मानायचे या गोष्टी, मी ज्यावेळी संशोधनाला सुरवात केली, त्यावेळी भौतिकीशास्त्रज्ञांच्या मनात गोंधळ निर्माण करीत होत्या.

या अडचणींचा मी ज्यावेळी विचार करू लागलो त्यावेळी प्रामुख्याने दोन गोष्टी माझ्या ध्यानात आल्या. प्रकाश क्वांटामध्ये उत्सर्जित होत असतो ही कल्पना समाधानकारक वाटत नव्हती, कारण प्रकाशकणाची ऊर्जा w = hv (v = वारंवारता) या समीकरणाने मिळवावी लागत होती. पण वारंवारतेची व्याख्या कशी करायची हे कण उपपत्तीमध्ये सांगितले नव्हते. या अडचणीतून मार्ग काढण्यासाठी प्रकाश कणस्वरूपी असतो ही कल्पना व त्यात काहीतरी आवर्तनीयता असते या दोन्ही कल्पनांचा एकाच वेळी विचार करावा लागतो. त्याउलट अणूमधील ऋणकणाच्या स्थिर गती ठरविण्यासाठी पूर्ण अंकांचा जरूर पडते आणि भौतिकीशास्त्रात फक्त प्रकाशाचा प्रतिरोध व प्रकाशलहरींची आंदोलने ठरविण्यासाठी पूर्ण अंक वापरावे लागतात. त्यामुळे इलेक्ट्रॉन किंवा ऋणकण हे साधेसुधे कण नाहीत अशी कल्पना माझ्या डोक्यात आली. परंतु ऋणकणाना आवर्तनीयता असते असे म्हणता येत नव्हते.

त्यानंतर मी एका कल्पनेला धरून माझे संशोधन चालू ठेवले. विकिरणाकरीता व त्यातल्या त्यात प्रकाशाकरीता कण-उपपत्ती व तरंग उपपत्ती यांचा जसा समन्वय करावा लागतो, तसा वस्तुमात्रांच्या बाबतीतही त्या उपपत्तींचा समन्वय घातला पाहिजे. थोडक्यात प्रकाशाच्या आणि वस्तुमात्रांच्या बाबतीत कणांच्या जोडीला तरंगांचे अस्तित्व आपण मान्य करायला पाहिजे. हे माझ्या संशोधनाचे मुख्य सूत्र होते. कण व तरंग संपूर्णपणे स्वतंत्र असू शकत नाहीत, कारण बोरच्या मताप्रमाणे जे एकमेकांचे पूरक असतात तेव्हा कणाची गती आणि त्या कणांशी संबंधित असे तरंग यांचा परस्पर संबंध प्रस्थापित करता आला पाहिजे. म्हणून कण व तरंग यामधला संबंध प्रस्थापित करणे हे माझ्या संशोधनाचे पहिले उद्दिष्ट ठरले.

हा परस्परसंबंध आपण कसा प्रस्थापित केला हे डी ब्रॉलीने यापुढे सांगितले आहे.

कोणत्याही बाह्य गोष्टींचा ज्यावर अजिबात परिणाम होत नाही असा एकच कण मी विचारात घेतला. अशा कणाशी आपल्याला तरंगाचा संबंध जोडा-

यचा आहे. ज्यामध्ये कण गतीहीन आहे अशी एखादी प्रणाली आपण विचारात घेऊ. सापेक्षतावाद उपपत्तीप्रमाणे कणाची अशी प्रणाली विचारात घ्यायला योग्य प्रणाली आहे. अशा प्रणालीमध्ये कण गतीहीन असल्याने तरंग स्थिर किंवा अचल असणार. प्रत्येक बिंदूपाशी अशा तरंगाच्या कला आहेत तशाच राहाणार. अशा तऱ्हेचा तरंग

$$\sin 2\pi$$

या समीकरणाने दाखवता येतो. या समीकरणात t_0 हा कणाचा काल असून v_0 हा एक स्थिरांक आहे.

जडतेच्या सिद्धांताप्रमाणे प्रत्येक गॅलीलियन प्रणालीमध्ये कणाला सरळ रेषेत एकरूप गती असते. अशी एखादी गॅलीलियन प्रणाली विचारात घेऊ अशा प्रणालीतील कणाची गती $v = \beta c$ आहे असे समजू या. अशा कणाची गती ' क्ष ' अक्षाच्या दिशेने आहे असे समजायला काही हरकत नाही. अशा या नव्या प्रणालीत t हा काल लॉरेन्ट्झ समीकरणाने काढता येतो. या t कालाचा t_0 या कालाशी संबंध

$$t_0 = \frac{t - \frac{\beta x}{c}}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

या समीकरणाने काढता येतो. परिणामी अशा तरंगाची कला

$$\sin 2\pi \frac{v_0}{\sqrt{1-\beta^2}} \left(1 - \frac{\beta x}{c} - v_0 \right)$$

या समीकरणाने मिळते.

अशा तरगाची वारंवारता v ही

$$v = \frac{v_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

या समीकरणाने मिळते. व ती क्ष अक्षाच्या दिशेने V या कलागतीने जाईल. ही कला गती

$$V = \frac{c}{\beta} = \frac{c^2}{v}$$

या समीकरणाने मिळते. या दोन समीकरणातील β या पदाला छेद दिल्यास या तरंगाचा n हा वक्रीभवनांक

$$n = \sqrt{1 - (v_0^2/v^2)}$$

या समीकरणाने मिळतो. प्रकाश विखुरण्याविषयीच्या या नियमाशी समूहगती संबंधीत असते. जवळ जवळ एकाच वारंवारतेच्या तरंगसमूहाची विस्तारता समूह-गतीच्या विस्तारते एवढी असते. लॉर्ड रॅले यानी ७ ही समूहगती

$$\frac{1}{U} = \frac{\delta(nv)}{\delta v}$$

या समीकरणाने काढता येते असे दाखवले आहे. या समीकरणात U हा अंक v बरोबर आहे. म्हणजे तरंगांची समूहगती प्रणालीतील कणाच्या गती एवढी आहे (x, y, z, t या समन्वितांच्या सहाय्याने प्रणाली सीमित होत असते.) आता मांडलेले हे समीकरण माझ्या उपपत्तीचा विस्तार करण्याच्या कामी फारच उपयुक्त ठरले.

प्रणालीतील कण x, y, z, t या समन्वितामुळे सीमित होते किंवा हे चार समन्वित सांगण्यात कणाचे संपूर्ण वर्णन येते. त्या कणाशी संबंधित तरंगाची वारंवारता v असते व Phase Velocity किंवा कलागती V असते. आता या गोष्टींचा ऊर्जा आणि संवेग याशी संबंध जोडता आला पाहिजे. ऊर्जा आणि वारंवारता यामधील प्रमाणीयता हे क्वांटम उपपत्तीचे एक वैशिष्ठ्य आहे. शिवाय गॅलीलियन सदर्भ प्रणाली बदलल्यास त्या बदलाप्रमाणे ऊर्जा व वारंवारता बदलत असल्याने

ऊर्जा = h × वारंवारता

किंवा $W = hv$

असे समीकरण मिळते. या समीकरणात h हा प्लँकचा स्थिरांक आहे. हे समीकरण कोणत्याही गॅलीलियन प्रणालीला लावल्यास बरोबर ठरले पाहिजे. हे समीकरण कणाच्या विशिष्ट प्रणालीला लावल्यास, आइन्स्टाइनच्या तत्त्वाप्रमाणे कण म्हणजे त्याची अंतर्गत ऊर्जा असते. m_0 हा कणाचा भार c त्याची गती असल्यास m_0c^2 ही त्याची अंतर्गत ऊर्जा असते.

$$\text{तेव्हा} \qquad h\nu_0 = m_0c^2$$

या समीकरणामुळे कणाशी संबंधित तरंगांची वारंवारता, कणाचा भार m_0 च्या सहाय्याने सांगता येते. किंवा या उलट कणाचा संवेग p हा

$$\frac{m_0 v}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

या बरोबर असतो. म्हणून

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{Wv}{c^2} = \frac{h\nu}{V} = \frac{h}{\lambda}$$

अशी समीकरणे मांडता येतात. λ म्हणजे पाठोपाठच्या तरंगांच्या कलाशिखरा-मधील अंतर म्हणजे तरंगलांबी आहे. अशा रीतीने

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

असे समीकरण आपल्याला मिळते. हे उपकरण माझ्या उपपत्तीच्या दृष्टीने अत्यंत महत्त्वाचे आहे.

तरंग आणि कण यामधील साम्य व संबंध ज्यामुळे प्रस्थापित करता येते ती समीकरणे व सूत्रे प्रकाश कणाना लावायला हरकत नाही. फक्त प्रकाशकणाचा

m_0 हा भार अत्यंत सूक्ष्म आहे असे आपण धरायला पाहिजे. W ऊर्जेच्या ठराविक मूल्यासाठी m_0 ची प्रवृत्ती शून्य मूल्याकडे जाण्याची आहे असे धरल्यास v आणि V या दोहोंचीही मूल्ये c या मूल्याकडे जाऊ लागतात. असे करीत करीत आपण शेवटची मर्यादा गाठली तर आपल्याला मूलभूत स्वरूपाची दोन समीकरणे मिळतात. आइन्स्टाइनने या समीकरणांच्या सहाय्याने आपली प्रकाशकणांची उपपत्ती मांडली आहे. ती समीकरणे

$$W = h\nu$$

व $$p = \frac{\nu}{c}$$ अशी आहेत.

माझ्या संशोधनाच्या पहिल्या टप्प्यात मी या कल्पनांचा विस्तार केला. यंत्रशास्त्राचे नियम आणि भौमितिक प्रकाशशास्त्राचे नियम यामध्ये ज्याप्रकारचे संबंध असतात त्यासारखे तरंग आणि कण यामधील संबंध प्रस्थापित करणे शक्य आहे असे या समीकरणानी सिद्ध केले. तरंग उपपत्तीमध्ये भौमितिक प्रकाशशास्त्र कोठपर्यन्त लागू करायचे याला काही मर्यादा आहेत. प्रकाशतरंगांचा परस्परास प्रतिरोध आणि प्रकाशाचे वक्रीभवन या दोन घटनांच्या बाबतीत भौमितिक प्रकाशशास्त्र अपुरे व तोकडे पडते. त्यामुळे असा विचार येतो की नव्या तरंग यंत्रशास्त्राच्या पल्ल्याशी तुलना करता जुने यंत्रशास्त्र एक गोळाबेरीज अर्थ सांगणारे शास्त्र आहे. आता श्रॉडिजरच्या संशोधनामुळे नवे तरंग यंत्रशास्त्र चांगल्या प्रगत स्थितीला आहे.

संशोधनाचे परिणाम

डी ब्रॉलीच्या संशोधनामुळे तरंगयंत्रशास्त्र किंवा वेव्ह मेकॅनिक्स या एका नवीन विषयाचा पाया तयार झाला, व डी ब्रॉलीच्या संशोधनाच्या आधारे श्रॉडिजर, डिरॅक इत्यादी त्याच्या नंतरच्या संशोधकानी संशोधन करून अणूविषयक ज्ञानात मोलाची भर घातली. वेगवान कणाना तरंगीय गुणधर्म असतात या डी ब्रॉलीच्या उपपत्तीला डेव्हीसन व गर्मर यानी न्यूयॉर्कमध्ये केलेल्या संशोधनाने व जी. पी. थॉमसनने ॲबरडीन येथे केलेल्या सशोधनाने चांगलीच पुष्टी मिळाली. डेव्हीसन व थॉमसन या संशोधकाना तर त्यांच्या अणूविषयक संशोधनाबद्दल १९५८ साली भौतिकीशास्त्र शाखेचे नोबेल पारितोषिक मिळाले.

१९३०

सर चंद्रशेखर व्यंकट रामन

(१८८८ - १९७०)

प्रकाशलहरी विषयीच्या संशोधनाबद्दल आणि " रामन परिणाम " म्हणून ओळखल्या जाणाऱ्या शोधाबद्दल नोबेल पारितोषिक

चरित्र

जुन्या मद्रास इलाख्यातील त्रिचनापल्ली गावी, ७ नोव्हेंबर १८८८ रोजी चंद्रशेखर व्यंकटरामन्‌चा जन्म झाला. त्यांच्या वडीलांचे नाव आर्. चंद्रशेखरन अय्यर असे असून, ते त्रिचनापल्लीच्या हायस्कूलमध्ये मास्तर होते. त्यांची आई संस्कृत पंडिताची कन्या असून, तिच्या वडीलानी संस्कृत भाषेत प्राविण्य मिळविण्यासाठी त्रिचनापल्लीहून बंगालमधील नादिया गावापर्यंन्त प्रवास केला होता. मातापित्याकडून रामनला शिक्षणात प्राविण्य मिळविण्याच्या इच्छेचे वरदान मिळाले होते. रामनच्या जन्मानंतर, त्याचे वडील विज्ञानविषयांची पदवी परिक्षा उत्तीर्ण झाले व त्यांची त्रिचीच्या अेस्. पी. जी. कॉलेजमध्ये भौतिकीशास्त्राचे प्राध्यापक म्हणून नेमणूक झाली. त्यानंतर त्यांची विशाखापटनम् येथील हिंदू कॉलेजमध्ये नेमणूक झाली. त्यामुळे ते विशाखापटनम्‌जवळील वॉल्टेर गावी रहायला आले. अगदी लहानपणापासून उत्तम तऱ्हेचे शैक्षणिक वातावरण रामनला घरीच लाभले. शालेय शिक्षणाच्या पायऱ्या भराभर चढून, वयाच्या फक्त बाराव्या वर्षी, १९०० मध्ये त्यानी मद्रास विद्यापिठाची मॅट्रिकची परीक्षा दिली. १९०२ मध्ये विशाखापटनम् हिंदू कॉलेजातून ते

मद्रास विद्यापीठाची इंटर आर्टसची परीक्षा पास झाले. इंटर आर्टसची परीक्षा उत्तीर्ण झाल्यानंतर त्यानी पदवी परीक्षेसाठी मद्रासच्या प्रेसिडेन्सी कॉलेजात नाव घातले व भौतिकीशास्त्राच्या विशेष अभ्यासास सुरवात केली. दोन वर्षांनी तीही परीक्षा ते प्रथम वर्गात उत्तीर्ण झाले. विज्ञानशाखेकडे प्रथम वर्ग मिळविणारे ते त्या वर्षी एकमेव उमेदवार असल्याने त्यास मद्रास विद्यापीठाचे सुवर्णपदक मिळाले. त्यानंतर पदव्युत्तर अभ्यास करीत असता, गणित व भौतिकीशास्त्र या दोनही विषयावरील त्यावेळचे बहुतेक उत्कृष्ट ग्रंथ त्यानी वाचून काढले. पदव्युत्तर अभ्यास करीत असता, १९०६ मध्ये त्यांचा पहिला संशोधन निबंध प्रसिद्ध झाला. 'The Unsymmetrical Diffraction band due to a rectangular aperture' हे त्यांच्या पहिल्या संशोधन निबंधाचे नाव असून, तो लंडनच्या फिलॉसॉफिकल मॅगझीन या ख्यातनाम वैज्ञानिक नियतकालिकाने प्रसिद्ध केला आहे. १९०७ च्या जानेवारी महिन्यात ते अेम्. अे. ची परीक्षा प्रथम क्रमांकावर उत्तीर्ण झाले.

अेम्. अे. च्या पदवीनंतर, भौतिकीशास्त्रात काही संशोधन करता येईल अशी त्यावेळी मद्रासमध्ये परिस्थिती नसल्याने, त्यानी अर्थशास्त्राविषयीची सरकारी परीक्षा देण्याचा निर्णय घेतला. १९०७ मध्ये हिंदुस्थान सरकारची finance service परीक्षा ते पहिल्या क्रमांकावर पास झाले व वयाच्या फक्त एकोणिसाव्या वर्षी ते कलकत्ता येथे अॅसिस्टंट अकाउंटन्ट जनरल झाले. कलकत्त्यात असताना, एक दिवस 'Indian Association for the cultivation of Science' ची पाटी त्यांच्या दृष्टोत्पत्तीस पडली. ही संस्था कलकत्त्यातील प्रख्यात धन्वंतरी डॉ. महेन्द्रलाल सरकार यानी स्थापन केली होती. विज्ञानाच्या प्रगतीसाठी स्थापन केलेल्या लंडनच्या ब्रिटिश असोसिएशनच्या धर्तीवर सर्वसाधारण माणसाला विज्ञानाची ओळख करून द्यायची व संशोधनाला प्रोत्साहन द्यायचे या उद्देशाने डॉ. महेन्द्रलाल सरकार यानी ही संस्था स्थापन केली होती. संस्थापकाचे चिरंजीव डॉ. अमृतलाल सरकार त्या संस्थेचे चिटणीस होते. डॉ. अमृतलाल सरकारना भेटून, त्या संस्थेच्या प्रयोगशाळेत काम करण्याची रामननी परवानगी मिळविली. तेव्हा पासून सरकारी कचेरीतील काम आटोपल्यानंतर, संध्याकाळी त्या संस्थेच्या प्रयोग-शाळेतील उपकरण सामुग्री विशेषसी प्रशंसनीय नव्हती. पण जी काही होती तिचा जास्तीत जास्त उपयोग करून, त्याने आपले संशोधन चालू ठेवले. संशोधनाची त्याना इतकी तीव्र आवड होती की सरकारी नोकरीवरून त्यांचे मन उडाले. कल-कत्त्यात राहून संशोधन करता यावे यासाठी चालून आलेल्या वरच्या जागा त्यानी नाकारल्या व बदलून दुसऱ्या गावी जायला नकार दिला. एकदा त्यांची रंगूनला

बदली झाली व त्याना तेथे जावे लागले. थोड्याच काळात त्यानी आपली बदली रद्द करून घेतली व ते कलकत्त्याला परत आले. प्रयोगशाळेला जाण्यायेण्यात वेळ जाऊ नये यासाठी ते प्रयोगशाळेच्या जवळच लहानशा घरात रहायला आले. त्यानी संशोधनाला सुरवात केली त्यावेळी इंडियन असोसिएशनच्या प्रयोगशाळेतील साधनसामुग्री अगदी साधीसुधी होती. त्या सुरवातीच्या काळात त्यानी पृष्ठभागीय ताण व प्रकाशाची उत्पत्ती या दोन विषयावर संशोधन केले. हे संशोधन पुरे करी-पर्यन्त, त्यानी आपली प्रयोगशाळा सुसज्ज केली व त्यानंतर ध्वनीविषयक विविध प्रकारच्या संशोधनास सुरवात केली. त्यांचे हे संशोन फिलासॉफिकल मॅगझीन व नेचर यासारख्या पहिल्या दर्जाच्या विज्ञान-नियतकालिकातून प्रसिद्ध झाले आहे. संगीतात वापरल्या जाणाऱ्या निरनिराळ्या वाद्याविषयी त्यानी केलेल्या संशोधनाने, हिंदुस्थानातील संगीतविषयक वाद्याबद्दल परदेशात खूप कुतूहल निर्माण झाले. १९१४ मध्ये रामनने ध्वनीविषयक व त्यातल्या त्यात तंतुवाद्यविषयक केलेल्या संशोधनाचे परीक्षण परदेशात प्रसिद्ध झाले.

त्यावेळी कलकत्ता विद्यापीठाचे कार्य सर अशुतोष मुखर्जी या नामवंत शिक्षणतज्ञाच्या मार्गदर्शनाखाली चालत होते. विद्यापीठाचे कुलगुरू म्हणून, कलकत्ता विद्यापीठात आमुलाग्र सुधारणा घडवून आणण्याची त्यांची सारखी खटपट चालू असे. अध्यापन व संशोधन या दोन्ही गोष्टीत कलकत्ता विद्यापीठ अग्रेसर असले पाहिजे असे त्याना वाटत असल्याने उत्तमोत्तम माणसे हेरून त्याना कलकत्ता विद्या-पीठात नेमण्याचा त्यांचा उपक्रम असे. व्यंकटरामन यांचे संशोधन कार्य पाहून, त्यानी त्याना विद्यापीठाच्या भौतिकीशास्त्र विभागाचे प्रमुख नेमण्याची तयारी दाखवली. सर अशुतोष मुखर्जींच्या विनंतीस मान देऊन, कलकत्ता विद्यापीठाच्या भौतिकीशास्त्रविभागाचे प्रमुखपद स्वीकारण्याचा व्यंकटरामनने निर्णय घेतला.

विद्यापीठाच्या भौतिकीशास्त्र विभागाचे प्रमुखपद रामनना मिळाले तरी त्या जागेचा पगार, त्याना अकाउंटन्ट जनरल म्हणून मिळत असलेल्या पगारापेक्षा खूपच कमी होता. पण संशोधन कार्य करायला मिळावे यासाठी रामनने सरकारी नोक-रीचा राजीनामा दिला व कमी पगारावरचे प्राध्यापकीय जीवन १९१७ मध्ये स्वीकारले.

त्यावेळी कलकत्ता विद्यापीठाचे उपकरण-साहित्य तितकेसे अद्यावत नसल्याने त्यानी इंडियन असोसिएशनच्या प्रयोगशाळेत काम करण्याची परवानगी मिळविली

व तेथे आपले संशोधन कार्य चालू ठेवले. १९१९ मध्ये डॉक्टर अमृतलाल सरकार यांचे निधन झाल्यानंतर, डॉ. रामनना इंडियन असोसिएशनचे चिटणीस नेमण्यात आले. ते काम त्यानी १९३३ पर्यन्त सांभाळले. भौतिकीशास्त्र विभागाचा प्रमुख म्हणून विद्यापीठाच्या अध्यापन कार्यात भाग घेतलाच पाहिजे अशी सक्ती नसताही, डॉ. रामन यानी स्वेच्छेने अध्यापन कार्यात भाग घेतला व संशोधन कार्य मोठ्या जोमाने चालू ठेवले. त्यांच्या मार्गदर्शनाखाली किती तरी भौतिकीशास्त्रज्ञ त्या विद्यापीठात तयार झाले, व भौतिकीशास्त्रातील संशोधनाचे एक प्रमुख केन्द्र अशी कलकत्ता विद्यापीठास मान्यता मिळाली. ध्वनीविषयीचे व हिंदुस्थानात संगीतासाठी वापरल्या जाणाऱ्या विविध वाद्याविषयीचे संशोधन त्यानी याच काळात केले. त्यांच्या मार्गदर्शनाखाली प्रसिद्ध होणाऱ्या इंडियन जर्नल ऑफ फिझिक्स या नियतकालिकात प्रसिद्ध झालेल्या संशोधन निबंधास आंतरराष्ट्रीय मान्यता मिळाली.

१९२१ मध्ये पलित अनुदानाचा फायदा घेऊन, त्यानी परदेशचा दौरा केला, व युरोपमधील आणि अमेरिकेमधील संशोधन केन्द्रास भेटी देऊन तेथे चालू असलेले संशोधन कार्य समजावून घेतले. भूमध्य समुद्रातून बोटीने प्रवास करीत असता, त्यांचे लक्ष त्या समुद्राच्या निळ्याभोर रंगाकडे वेधले. सूर्यकिरणांचे विकरण झाल्याने हा रंग दिसतो असे त्यांचे मत झाले. याआधी इंग्लंडचे ख्यातनाम भौतिकी-शास्त्रज्ञ लॉर्ड रॅले यानीही समुद्राला निळा रंग का दिसतो याचे यासारखेच स्पष्टी-करण दिले होते. परदेशाहून परत आल्यानंतर, प्रकाशाचे निरनिराळ्या पदार्थाकडून होणारे विकरण अभ्यासण्यास त्यानी सुरवात केली. निरनिराळ्या ठिकाणाहून समुद्राचे पाणी आणवून, त्या पाण्याने प्रकाशाचे विकरण कसे होते याचाही त्यानी अभ्यास केला. याबरोबर त्यानी प्रकाशाविषयी आणखी वेगळ्या प्रकारचे संशोधन सुरू केले. यांच्या मार्गदर्शनाखाली शिशिरकुमार मित्र व बिधुभूषण राय यानी प्रकाशविषयक संशोधन करून कलकत्ता विद्यापीठाची डी. एस्सी. पदवी संपादन केली. त्यांच्या संशोधनकार्याची पावती म्हणून कलकत्ता विद्यापीठाने त्यास माननीय डी. एस्सी. पदवी अर्पण केली.

प्रकाशाच्या विकरणासंबंधी प्रयोग करीत असता, समुद्राच्या निळ्या रंगा-विषयी लॉर्ड रॅले व त्यांचे सहकारी यानी दिलेले स्पष्टीकरण, आपण केलेल्या प्रयोगांच्या निष्कर्षाशी जुळत नाही असे रामनना आढळून आले. समुद्राच्या पाण्या-वर प्रकाश किरणांच्या लहरींची तरंगलांबी व विकरण झाल्यानंतर मिळणाऱ्या

प्रकाश लहरींची तरंगलांबी एकच असली पाहिजे असे लॉर्ड रॅलेचे म्हणणे होते. के. बी. रामनाथन व के. एस्. कृष्णन या सहकाऱ्यांच्या सहकार्याने रामनने बऱ्याचशा शुद्ध सेन्द्रिय द्रव्याकडून विकरण झालेल्या नील प्रकाशाचे परीक्षण केले. त्यावेळी जवळ जवळ प्रत्येक वेळी त्याना नील प्रकाशाबरोबर फिकट हिरवा प्रकाश दिसून आला. सेन्द्रिय द्रवात सूक्ष्म प्रमाणात असलेल्या अशुद्धतेमुळे या द्रवात हिरवा फ्ल्युओरेसन्स (स्फुरदीप्ती) दिसतो असे स्पष्टीकरण कृष्णननी प्रथमतः दिले.

यावेळी म्हणजे १९२४ मध्ये, एक हुशार भौतिकीशास्त्रज्ञ म्हणून त्यांचा झालेला नावलौकिक लक्षात घेऊन, त्याना लंडनच्या रॉयल सोसायटीचे फेलो निवडण्यात आले व तेव्हापासून अेफ्. आर्. अेस्. ही पदवी त्यांच्या नावापुढे लावण्यात येऊ लागली. या आधी फक्त तीनच हिंदी शास्त्रज्ञाना रॉयल सोसायटीची फेलोशिप मिळाली होती. यानंतर क्षकिरणांचे द्रवाकडून व स्फटिकाकडून होणाऱ्या वक्रीभवनाकडे त्यांचे लक्ष गेले व त्या विषयात त्यानी संशोधन सुरू केले. त्याचप्रमाणे चुंबकीय व वैद्युती बायरिफ्रिन्जन्स या विषयासंबंधीही त्यानी संशोधनास सुरवात केली. याच सुमारास कॉम्प्टन परिणामाचा शोध लागला. लहरींची ठराविक तरंगलांबी असलेले किंवा ठराविक वारंवारता असलेले क्षकिरण वस्तुमात्रावर पडल्यास, त्यांचे विकरण होते व विकरण झाल्यानंतर मिळणाऱ्या क्षकिरणांची वारंवारता, वस्तुमात्रावर पडलेल्या मूळ क्षकिरणांच्या वारंवारतेहून कमी असते असे कॉम्प्टनला आढळले होते. बिलीयर्डचा चेंडू दुसऱ्या चेंडूवर आपटल्यावर त्याच्या वेगात व जाण्याच्या दिशेत जसा परिणाम होतो तसाच प्रकार क्षकिरण वस्तुमात्रातील ऋणकणावर आदळण्याने होतो असे मत मांडले गेले. यासारखाच प्रकार दृश्य प्रकाशकिरणांच्या बाबतीत दिसून येतो का हे पाहाण्यासाठी रामनने संशोधन सुरू केले. कृष्णन व रामनाथन या त्यांच्या शिष्यानी केलेल्या संशोधनात, सेन्द्रिय किंवा कार्बनिक द्रवातून प्रकाश गेल्यानंतर बाहेर पडणाऱ्या प्रकाशात हिरव्या रंगाची स्फुरदीप्ती आढळली होती. ही हिरवी स्फुरदीप्ती कशामुळे निर्माण होते याचा शोध घेण्याचे त्यानी ठरविले. मर्क्युरी आर्क दीपाचा प्रकाश व छोटासा हिल्गर स्पेक्ट्रोग्राफ वापरून, त्यानी कार्बनिक द्रवातून प्रकाश जाऊ दिल्यानंतर, विकरण होऊन बाहेर पडलेल्या प्रकाशलहरींची मोजणी केली. १९२८ च्या फेब्रुवारी महिन्यात केलेल्या या प्राथमिक संशोधनात, द्रवावर पडणाऱ्या प्रकाशलहरींहून वेगळ्या वारंवारतेच्या प्रकाश लहरी, द्रवाने विकरण होऊन बाहेर पडणाऱ्या प्रकाशात आढळल्या. या प्राथमिक संशोधनात, प्रकाशलहरींची वारंवारता मोजण्यात जी अचूकता असायला पाहिजे होती, ती नव्हती. त्यामुळे द्रवावर पडणाऱ्या व द्रवातून

बाहेर येणाऱ्या प्रकाशलहरींच्या वारंवारतेतील फरक अचूक मोजला गेला नव्हता. त्यामुळे या विषयावरच्या पहिल्या संशोधननिबंधात, कॉम्प्टन परिणामासारखाच परिणाम दृश्य प्रकाशलहरींच्या बाबतीत दिसून येतो. वस्तुमात्रावर एखादी विशिष्ट प्रकाशलहरी पडल्यास, वस्तुमात्रातून एक वेगळी प्रकाशलहरी बाहेर पडते असे विधान आहे. पुढे के. अेस्. कृष्णन यांच्या मदतीने, त्यानी या विषयासंबंधी जास्त अचूक संशोधन केले. त्यावेळी प्रकाशलहरी विषयींचे हे संशोधन व कॉम्प्टन परिणाम यात फरक आहे असे दिसून आले. कॉम्प्टन परिणामात वस्तुमात्रावर पडणाऱ्या क्षकिरणांची वारंवारता आणि विकरण झालेल्या क्षकिरणांची वारंवारता यामधील फरक वस्तुमात्रावर पडणाऱ्या प्रकाशकणांच्या संवेगावर अवलंबून असतो. तर वस्तुमात्रावर पडणाऱ्या प्रकाशलहरींची वारंवारता व वस्तुमात्रातून बाहेर पडणाऱ्या प्रकाशलहरींची वारंवारता यामधील फरक, वस्तुमात्रावर पडणाऱ्या प्रकाशकणांच्या संवेगावर अवलंबून नाही असे रामनला आढळले. वस्तुमात्रावर एकलहरी प्रकाश पडू दिल्यास, वस्तुमात्रातून जाताना त्या प्रकाशाचे विकरण होते व विकरण झालेल्या प्रकाशात मूळ प्रकाशलहरीपेक्षा जास्त लांब तरंगलांबी असलेल्या किंवा कमी लांब तरंगलांबी असलेल्या प्रकाशलहरी मिळतात. हे असे का होते याचे स्पष्टीकरण रामननी क्वांटम उपपत्तीच्या सहाय्याने केले. रामनच्या या शोधाकडे भौतिकीशास्त्रज्ञांचे लक्ष वेधण्याचे काम प्रिंगशीम या शास्त्रज्ञाने १९२८ मध्ये नाटुरविसेनशाफ्टेन या जर्मन नियतकालिकात एक स्वतंत्र लेख लिहून केले. वस्तुमात्रावर पडणाऱ्या प्रकाशलहरींची वारंवारता व वस्तुमात्रातून बाहेर पडलेल्या प्रकाशलहरींची वारंवारता यामध्ये रामनना आढळून आलेल्या फरकास, प्रिंगशीमने " रामन परिणाम " हा शब्दप्रयोग प्रथमतः केला. रामन परिणामाचे महत्त्व लक्षात आल्यावर, त्या परिणामाचा अभ्यास करून, त्याच्या सहाय्याने घन, द्रव व वायुरूप पदार्थांच्या रेणूंची रचना शोधून काढण्याविषयीचे संशोधन, रामननी व इतर शास्त्रज्ञानी मोठ्या उत्साहाने सुरू केले.

पदार्थांच्या रेणूंची रचना शोधून काढण्यासाठी रामन परिणामाचा अभ्यास अत्यंत उपयुक्त आहे–हे समजून आल्यानंतर निरनिराळ्या देशातून रामनचा गौरव होऊ लागला. १९२८ मध्ये इटलीच्या सायन्स सोसायटीने त्यास मॅटॉकी सुवर्णपदक अर्पण केले. फ्रायबर्ग विद्यापीठाने त्यास माननीय पीअेच्. डी. पदवी बहाल केली. त्याच वर्षी ब्रिटिश सरकारने त्यास 'सर' ही पदवी देऊन त्यांचा गौरव केला. त्यावर्षीच्या इंडियन सायन्स कॉंग्रेस अधिवेशनाचे त्याना अध्यक्ष निवडण्यात आले. १९३० सालचे भौतिकीशास्त्रातील संशोधनाबद्दलचे नोबेल पारितोषिक त्यास

मिळाले. त्याचवर्षी लंडनच्या रॉयल सोसायटीने त्यास ह्यूजेस पदक अर्पण केले. कलकत्ता नगरवासियानी त्यांच्या सन्मानार्थ एक वेगळा स्वागत समारंभ योजून आपला आनंद व्यक्त केला. त्याप्रसंगी कलकत्त्याचे मेयर डॉ. बिधनचंद्र रॉय अध्यक्ष स्थानी होते.

यानंतर कृष्णन व भगवंतम या आपल्या दोन हुषार विद्यार्थ्यांच्या सहकार्याने रामननी स्फटिकांचे चुंबकीय गुणधर्म व फोटॉन स्पिन या विषयीचे संशोधन पार पाडले.

१९३३ मध्ये हिंदुस्थानातील एक श्रेष्ठ भौतिकीशास्त्रज्ञ म्हणून बंगलोरच्या इंडियन इन्स्टिटयूट ऑफ सायन्सचे संचालकत्व त्यांच्याकडे चालून आले. हिंदुस्थानातील वैज्ञानिक जगतात या इन्स्टिटयूटचे मानाचे स्थान लक्षात घेता, हा सन्मान करण्यात हिंदुस्थान सरकारने आपली गुणग्राहकता चांगल्या प्रकारे व्यक्त केली असे म्हणावे लागते. बंगलोरच्या सायन्स इन्स्टिटयूटचे संचालकपद स्वीकारण्याचे मान्य करून, त्यानी सव्वीस वर्षांच्या मोठ्या यशस्वी वास्तव्यानंतर कलकत्त्याचा निरोप घेतला. बंगलोरला आल्यानंतर, १९३३ च्या एप्रिल महिन्यात त्यानी इन्स्टिटयूट ऑफ फिजिक्सची स्थापना केली. चार वर्षे इंडियन इन्स्टिटयूट ऑफ सायन्सचा कारभार पाहिल्यानंतर, त्यानी संचालकपदाचा राजिनामा दिला व स्वताच स्थापिलेल्या इन्स्टिटयूट ऑफ फिझिक्समध्ये ते प्राध्यापक म्हणून संशोधन करू लागले. कारभारविषयक प्रश्नात गुंतून पडल्यास, संशोधनाकडे पुरेसे लक्ष पुरविता येत नसल्याने व संशोधनातच त्याना रस असल्याने त्यानी हा निर्णय घेतला. १९३४ मध्ये त्यानी इंडियन अॅकेडमी ऑफ सायन्सची स्थापना केली. स्थापनेपासून १९७० साली त्यांचा मृत्यु होईपर्यन्त ते त्या संस्थेचे अध्यक्ष होते. या संस्थेचे मुखपत्र म्हणून त्यानी प्रोसिडिंग्ज ऑफ इंडियन अॅकेडमी ऑफ सायन्स हे नियतकालिक सुरू केले. इन्स्टिटयूट ऑफ फिजिक्स या संस्थेची सर्वांगीण उन्नती करण्यासाठी त्यानी खूप परिश्रम केले. त्यांच्या धोरणी व कुशल मार्गदर्शनाखाली, ती संस्था भौतिकीशास्त्रात संशोधन करणारी हिंदुस्थानातील एक अग्रगण्य संस्था ठरली. त्यांच्या स्फूर्तिदायक मार्गदर्शनाखाली संशोधनाचे अेक नवीन युग बंगलोरमध्ये सुरू झाले. १९३३ ते १९४८ या पंधरा वर्षांच्या काळात या संस्थेत झालेल्या संशोधनाच्या आधारे ४९१ संशोधन निबंध हिंदुस्थानातील व आंतरराष्ट्रीय महत्त्वाच्या नियतकालिकात प्रसिद्ध झाले आहेत. द्रव, द्रवांची मिश्रणे व कलिल विलयने यातून प्रकाश जाऊ दिल्यावर होणाऱ्या प्रकाशविकरणाचा त्यानी अभ्यास केला. कित्येक संयुगांच्या रामन प्रकाशपटांचा अभ्यास त्यानी याच काळात

केला, व अश्राव्य ध्वनिलहरींच्या अभ्यासात विशेष उल्लेखनीय कार्य केले. अश्राव्य ध्वनिलहरीनी घडून येणाऱ्या प्रकाशाच्या वक्रीभवनाचा त्यानी डॉ. नागेन्द्रनाथ यांच्या सहकार्याने अभ्यास केला. स्फटिक रचनांचा अभ्यास करून, तद्विषयी त्यानी एक नवी उपपत्ती मांडली. या उपपत्तीप्रमाणे स्फटिक जालकातील अणू कंपन पावत असतात व या कंपनांची ठराविक वेळेत ठराविक संख्या असते. हे त्या स्फटिकाच्या कंपनपटावरून समजून येते. तसेच क्षकिरणांच्या सहाय्याने स्फटिक रचना समजून घेण्याच्या पद्धतींचा त्यानी अभ्यास केला. स्फटिक रचनाविषयी केलेल्या संशोधनात, हिऱ्यांच्या स्फटिकरचनेविषयी त्यानी डॉ. नागेन्द्रनाथ यांच्या सहकार्याने केलेले संशोधन विशेष महत्वाचे आहे. देशोदेशीहून मिळविलेल्या हिऱ्यांच्या स्फटिकरचनांचा अभ्यास करून, ही स्फटिक रचना चार प्रकारची असणे शक्य आहे असे मत त्यानी मांडले. त्या मताचा खरेखोटेपणा ठरविण्याचे कार्य इतर देशातील शास्त्रज्ञ करीत आहेत. पक्ष्यांच्या पिसावर प्रकाशमान होणारे विविध रंग छटा, शिंपल्यातून चमकणाऱ्या विविध रंगछटा यांच्याविषयी त्यानी अभ्यास केला. संगीतात वापरली जाणारी निरनिराळी वाद्ये वाजवीत असता, मिळणाऱ्या ध्वनीलहरींचा, त्यानी शास्त्रीय दृष्टिकोनातून अगदी कस्सून अभ्यास केला. त्यांचे या क्षेत्रातले संशोधन अजूनही आदर्श मानतात.

आपल्या मनोधारणेप्रमाणे संशोधन करायला मिळावे या हेतूने त्यानी १९४८ मध्ये रामन रिसर्च इन्स्टिटयूटची स्थापना केली. आर्थिक दृष्टया उपयुक्त ठरेल अशा संशोधनाच्या मागे न जाता, ज्ञानोपासना हेच उद्दिष्ट डोळयासमोर ठेवून संशोधन करावे असे त्यांचे मत होते व या मताचा त्यानी शेवटपर्यन्त पाठपुरावा केला. विस्तीर्ण जागेत बांधलेल्या त्यांच्या प्रशस्त प्रयोगशाळेत, अद्यावत ग्रंथालय, उत्तम प्रकारची उपकरण सामुग्री, संशोधनाच्या निमित्ताने गोळा झालेला हिऱ्यांचा, रत्नांचा, फुलपाखरांचा, शिंपल्यांचा, गोगलगायींचा व कीटकांचा मोठा संग्रह आहे. आपली प्रयोगशाळा कशा प्रकारची पाहिजे याविषयी ज्या कल्पना त्यानी मनाशी ठरविल्या होत्या, त्या कल्पनाना धरून रामन इन्स्टिटयूटची बांधणी झाली होती व तेथेच त्यांचे संशोधन कार्य शेवटपर्यंत चालू राहिले.

हिंदुस्थान स्वतंत्र झाल्यानंतर, १९४८ मध्ये त्याना पहिले राष्ट्रीय प्राध्यापक नेमून स्वतंत्र हिंदुस्थानाने आपली गुणग्राहकता व्यक्त केली. १९५४ मध्ये त्याना 'भारत रत्न' ही हिंदुस्थानातील सर्वश्रेष्ठ पदवी मिळाली. १९५१

मध्ये फिलाडेल्फिया इन्स्टिटयूटने त्यास फ्रँकलिन पदक अर्पण केले. तर १९५७ मध्ये त्यास आंतरराष्ट्रीय लेनिन पारितोषिक रशियाकडून मिळाले.

परदेशातील संशोधनकार्य समजावून घेण्याच्या उद्देशाने त्यानी १९२१ मध्ये प्रथमतः परदेश यात्रा केली. त्यानंतर त्यांच्या किती तरी परदेश यात्रा झाल्या. कधी आमंत्रित पाहुणा म्हणून तर कधी मातृभूमीचे प्रतिनिधीत्व करण्यासाठी म्हणून त्यानी बऱ्याच परदेशयात्रा केल्या आहेत. त्यापैकी काहींचा येथे निर्देश केला आहे. १९२१ सध्ये ऑक्सफर्डमध्ये, भरलेली ब्रिटीश साम्राज्यातील विद्यापीठांची बैठक, १९२४ मध्ये टोरोन्टोमध्ये भरलेले ब्रिटिश असोसिएशनचे अधिवेशन व आंतरराष्ट्रीय गणितशास्त्र परिषदेचे अधिवेशन, १९२५ मधील रशियन ॲकेडमी ऑफ सायन्सेसचे अधिवेशन, १९२१ मध्ये ब्रिस्टलमध्ये इंग्लंडच्या फॅराडे सोसायटीने रेण्विक प्रकाशपट विषयक प्रश्नांचा विचार करण्यासाठी मुद्दाम घडवून आणलेला परिसंवाद, १९३० मध्ये नोबेल पारितोषिकाचा स्वीकार करण्यासाठी स्टॉकहोम-मधील पारितोषिक वितरण समारंभ, १९४१ मध्ये फिलाडेल्फियामधील फ्रँकलिन इन्स्टिटयूटचा शताब्दि समारंभ, १९४८ मध्ये हारवर्ड येथे भरलेले आंतरराष्ट्रीय स्फटिकीशास्त्रज्ञांचे अधिवेशन, इत्यादीमध्ये भाग घेण्यासाठी त्यानी केलेल्या परदेश-यात्रा विशेष उल्लेखनीय आहेत.

विज्ञान विषयाना वाहून घेतलेल्या कित्येक संस्थानी त्यास आपले माननीय सभा-सदत्व बहाल केले होते. त्या सर्व संस्थांची यादी बरीच मोठी असल्याने त्या सर्वांचा निर्देश येथे करता येत नाही. त्यातील काहींचाच फक्त येथे नामनिर्देश केला आहे. ग्लासगोमधील रॉयल फिलॉसॉफिकल सोसायटी, झुरिचमधील फिझिकल सोसायटी, बेलफास्टमधील रॉयल आयरिश ॲकेडमी, हंगेरियन ॲकेडमी ऑफ सायन्स, रशियन ॲकेडमी ऑफ सायन्स, कलकत्त्यातील मॅथेमेटिकल सोसायटी, इंडियन केमिकल सोसायटी, इंडियन मॅथेमॅटिकल सोसायटी ह्या व इतर कित्येक संस्थांनी त्यास आपले माननीय सभासदत्व बहाल करून, आपली गुणग्राहकता व्यक्त केली आहे. बंगलोरमधील नॅशनल इन्स्टिटयूट ऑफ सायन्सचे (सध्या तिला नॅशनल सायन्स ॲकेडमी म्हणतात) ते अगदी स्थापनेपासूनचे सभासद होते; किंबहुना त्यांच्याच प्रयत्नामुळे ती संस्था स्थापन झाली.

हिंदुस्थानातील व परदेशातील कित्येक विद्यापीठानी त्यास डी. असुसी. किंवा अल्. अल्. डी. पदवी अर्पण करून, त्यांचा वेळोवेळी सन्मान केला आहे. पॅरीसच्या

सॉरबॉन विद्यापीठाने दिलेली डी. अेसूसी. पदवी व ग्लासगो विद्यापीठाने दिलेली अेल्. अेल्. डी. पदवी यांचा उल्लेख येथे फक्त उदाहरणादाखल केला आहे.

सर चंद्रशेखर व्यंकटरामन यांचा जीवनवृत्तांत, यांच्या पत्नीच्या—लोकसुंदरीच्या निर्देशनाखेरीज पुरा होत नाही. पतीला अतिशय प्रेमळ साथ दिल्याने व त्यांच्या प्रकृतीची काळजीपूर्वक जोपासना केल्याने, सर रामन शेवटपर्यन्त कार्यरत राहू शकले.

वैज्ञानिक जगतात त्यांचा खूप नावलौकिक झाला होता. खूप मानसन्मानही त्यांच्या वाट्याला आले होते. कुशाग्र बुद्धिमत्ता व निरपेक्ष सहृदय वागणूक यामुळे त्यांचे व्यक्तिमत्व उठून दिसते. त्यांची विद्वत्ता फक्त भौतिकीशास्त्राच्या परिसीमेत सामावली नव्हती. इतर कितीतरी विषयांचा त्यानी अभ्यास केला होता. रुक्ष वैज्ञानिक चर्चा चालू असता, रामायण किंवा महाभारत यासारख्या पुराण ग्रंथातले उतारे त्यांच्या तोंडून येत आणि चर्चेसाठी घेतलेल्या विषयावर वेगळाच प्रकाश पडे. त्यांची व्याख्याने अतिशय श्रवणमधुर असत. विद्वत्ता, हजरजबाबीपणा, इंग्रजी भाषेवर उत्तम प्रभुत्व, आवाजातले नादमाधुर्य यामुळे त्यांचे व्याख्यान अैकायला मिळणे हा एक दुग्धशर्करा योग असायचा. त्यांची राहाणी अतिशय साधी होती. मद्य-मांस या गोष्टींना त्यानी स्पर्शही केला नाही. मध्यम स्थितीतल्या कोणत्याही मद्रासी गृहस्थासारखा त्यांचा पोषाख असायचा. लांब कोट व त्यावर मद्रास-प्रांतीयांचा पांढरा फेटा हा त्यांचा वेष हिंदुस्थानात किंवा परदेशातही कायम होता. स्थानपरत्वे त्या वेषात फरक झाले नाहीत.

सर अशुतोष मुखर्जी व डॉ. महेन्द्रलाल सरकार यानी त्याना दिलेल्या प्रोत्साहनाचा ते कृतज्ञतापूर्वक उल्लेख करीत. गांधीजी व रविंद्रनाथ टागोर यांच्याबद्दल त्यांच्या मनात आदरबुद्धी होती. रविंद्रनाथांच्या निधनानंतर, त्यांचे जीवन व कार्य या विषयावर सर रामननी दिलेले व्याख्यान संस्मरणीय आहे. शब्दांची अचूक योजना, श्रेष्ठ साहित्यिकाच्या तोंडी शोभेल अशी भाषा आणि रविंद्रनाथ टागोरांच्या विविध कलाकृतींचा गाढ अभ्यास इंग्रजी भाषा आणि साहित्य यांची उत्तम समज हे सारे गुण त्या व्याख्यानात होते. दर वर्षी गांधी जयंतीच्या निमिताने, २ ऑक्टोबरला त्यांचे गांधींच्या जीवनावर व्याख्यान व्हायचे व त्यांच्या जीवनाच्या विविध पैलूवर भाष्य व्हायचे. स्वताचा मृत्यू होण्याआधी फक्त अेक महिना अगोदर, सर रामननी गांधीजीच्या कार्याबद्दल दिलेले व्याख्यान हे त्यांचे तत्संबंधीचे शेवटचे व्याख्यान होते.

आयुष्यभर विज्ञानसाधना केल्यानंतर २१ नोव्हेंबर १९७० रोजी ते स्वर्गवासी झाले. त्यांच्या इच्छेप्रमाणे त्यांचे औध्र्वदेहिक संस्कार रामन इन्स्टिटयूटच्या विस्तीर्ण प्रांगणात उरकण्यात आले.

१९०६ मध्ये डॉ. व्यंकटरामन यांचा पहिला संशोधन निबंध प्रसिद्ध झाला. तेव्हापासून नंतरच्या ६४ वर्षात त्यांचे शेकडो संशोधन निबंध हिंदुस्थानातील व परदेशातील, विज्ञानविषयास वाहिलेल्या नियतकालिकातून प्रसिद्ध झाले आहेत. त्यानी विपुल ग्रंथलेखनही केले आहे. त्यापैकी काही ग्रंथांचाच फक्त नामनिर्देश येथे केला आहे. 'प्रकाशाचे रेण्वीय वक्रीभवन' 'संगीत वाद्याविषयीची उपपत्ती,' 'स्फटिकशास्त्र व क्षकिरणांचे वक्रीभवन,' 'तंतुवाद्यविषयीची उपपत्ती' ही पुस्तके शास्त्रीय जगतात खूप गाजली. 'दृष्टीचा शरीरशास्त्र दृष्टया विचार' हे त्यांचे शेवटचे पुस्तक त्यांच्या ऐंशाव्या वर्षी १९६८ साली प्रसिद्ध झाले आहे.

उपयुक्ततावादी दृष्टिकोनातून संशोधन न करता ज्ञानोपासनेसाठीच संशोधन करावे या आपल्या मताचा पाठपुरावा अतिशय आग्रही वृत्तीने त्यानी शेवटपर्यंत केला. हिंदुस्थानातील गरीबीचे उच्चाटन करायचे असल्यास, विज्ञानाचीच कास धरली पाहिजे असे वाटत असले तरी हुकूमशाही पद्धतीचा राज्यकारभार करून गरीबी हटवायचा प्रयत्न करावा हा विचार त्याना कधीही रुचला नाही. कोटयावधी रुपयांचा चुराडा करून, चंद्रावर उतरण्याची कल्पनाही त्याना कधी पटली नाही. अशा प्रकारच्या संशोधनाने मानवाला हितावह असे काहीही हाती लागायचे नाही असे त्यांचे मत होते. ते निरीश्वरवादी आहेत असे काही जणाना वाटायचे. पण तसा प्रकार नव्हता. विज्ञानक्षेत्रातल्या नवनवीन शोधानी, जगन्नियंत्याचे स्वरूप विविध प्रकारे प्रगट होत असते असे त्याना वाटायचे.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

बंद केलेल्या खिडकीच्या सूक्ष्म फटीतून अंधारलेल्या खोलीत उन्हाचा कवडसा पडल्यास, व त्यास एका बाजूने न्याहाळल्यास, तो कवडसा अगदी स्पष्टपणे आखलेली प्रकाशशलाका आहे असे दिसते. तो कवडसा इतका स्पष्टपणे दिसण्याचे कारण हवेमध्ये असलेले धुळीचे सूक्ष्म कण त्यावर पडणाऱ्या प्रकाशाचे विकरण करीत असतात. धूळीकणावर पडणाऱ्या मूळ प्रकाशात असणाऱ्या विविध तरंगलांबीचे विकरण पावलेल्या प्रकाशात असतात. फक्त त्यांचे परस्परप्रमाण

दोन्ही ठिकाणी भिन्न असते. कमी तरंगलांबीच्या नील प्रकाशाचे जास्त तरंग-लांबीच्या लाल प्रकाशाहून जास्त विकरण होते. असे १८६८ मध्ये लंडनमधील जॉन टिंडॉलने प्रथमतः सिद्ध केले. अमाइल नायट्राइटच्या बाष्पाबरोबर मिसळलेल्या हवेने भरलेल्या नळीतून त्याने स्फुल्लिंगदीपातून मिळालेल्या प्रकाशाची शलाका जाऊ दिली. अमाइल नायट्राइटच्या बाष्पावर प्रकाशाचा परिणाम होऊन त्याचे सूक्ष्म कण तयार झाले आणि त्यामुळे नळीतल्या हवेमध्ये एक अत्यंत सूक्ष्म मेघ तयार झाला. हा मेघ प्रथमतः तयार झाला, त्यावेळी त्याला सुरेखसा फिक्कट निळा रंग होता. मेघातील अमाइल नायट्राइटचे कण आकाराने मोठे झाल्यावर मेघाचा रंग गडद निळा झाला. अमाइल नायट्राइट कणांचा आकार आणखी वाढल्यावर मेघास पांढरा रंग आला. प्रथमतः ज्यावेळी मेघातील अमाइल नायट्राइट कणांचा आकार अगदी सूक्ष्म होता, त्यावेळी ते प्रकाशातील नील तरंगांचे जास्त विकरण करीत होते. अमाइल नायट्राइट कणांचा आकार वाढू लागल्यावर जास्त लांबीच्या तरंगाचे विकरण होऊ लागले. असे होत होत मूळच्या श्वेत प्रकाशातील सर्व तरंगलांबी विकरण पावलेल्या प्रकाशात आल्या. सूक्ष्म कणाकडून होणाऱ्या प्रकाशाच्या विकरणाचा यानंतर १९०४ मध्ये लॉर्ड रॅले या इंग्रज शास्त्रज्ञाने तात्त्विक अभ्यास केला. प्रकाशातील लघु तरंगलांबीचे विकरण झाल्याने व विकरण झालेला प्रकाश एका बाजूस पडल्याने प्रकाशाला निळा रंग दिसतो असे टिन्डॉलचे म्हणणे होते. सूर्योदयाच्या किंवा सूर्यास्ताच्या वेळी वाता-वरणाच्या खालच्या थरातील सूक्ष्म कण जास्त लांबीच्या लाल तरंगाखेरीज इतर तरंगलांबीचे विकरण करीत असतात व त्यामुळे आकाशाकडे सकाळी किंवा संध्या-काळी पाहाणाराला फक्त लाल प्रकाशच दिसतो असे लॉर्ड रॅलेने सकाळी किंवा संध्याकाळी आकाशाला दिसणाऱ्या लाल रंगाचे स्पष्टीकरण दिले.

वस्तुमात्रावर पडणाऱ्या प्रकाशात अनेक एकवर्ण किंवा एकतरंग रेषा असल्या, तर वस्तुमात्रावर पडून विकरण पावलेल्या प्रकाशात मूळ प्रकाशात अस-लेल्या तरंगलांबीखेरीज इतरही तरंगलांबी असणे शक्य आहे असे मत १९२५ मध्ये अेच्. जे. क्रॅमर्स आणि हायसेनबर्ग यानी मांडले. त्यांचे हे मत फक्त तात्त्विक विचारावर आधारले होते. त्या मताच्या पुष्ट्यर्थ कोणताही प्रायोगिक पुरावा नव्हता. याचवेळी कलकत्ता विद्यापीठात डॉ. रामन आणि त्यांचे सहकारी रेणूकडून होणाऱ्या प्रकाश विकरणाचा अभ्यास करीत होते. १९२८ साली केलेल्या प्रयोगात त्याना असे आढळले की पारद-स्फुल्लिंगदीपापासून मिळवलेला प्रखर श्वेत प्रकाश योग्य त्या द्रवाच्या रेणूकडून विकरण पावला तर विकरण पावलेल्या प्रकाशाच्या

वर्णपटात मूळ प्रकाशाच्या वर्णपटातील सर्व रेषा व त्याखेरीज आणखी काही नवीन रेषा असतात. नोबेल पारितोषिकाचा स्वीकार केल्यानंतर दिलेल्या व्याख्यानात, प्रकाशाचे रेण्विक विकरण या विषयाकडे आपण कसे वळलो व त्या विषयीचा शोध आपण कसा लावला हे सांगितले आहे.

व्याख्यानाची सुरवात त्यानी सागराच्या निळ्या रंगापासून केली. त्या व्याख्यानात डॉ. रामन म्हणाले–

(१) १९२१ मध्ये मी बोटीने युरोपला जात असता भूमध्य समुद्राचा सुंदर निळा रंग माझ्या दृष्टीस पडला. समुद्राच्या पाण्यातील जलरेणूनी घडवून आणलेल्या सूर्यप्रकाशाच्या विकरणामुळे समुद्राला निळा रंग येत असतो असे वाटत होते. हे स्पष्टीकरण बरोबर आहे की नाही हे पाहायचे असल्यास, द्रवामध्ये प्रकाशाचे प्रसरण कसे होते याविषयीचे नियम नक्की करणे हे ओघानेच आले. तेव्हा १९२१ च्या सप्टेंबर महिन्यात कलकत्त्याला परतल्यानंतर मी त्या विषयीच्या प्रयोगास सुरवात केली. परंतु ज्या उद्देशाने त्या प्रयोगास मी सुरवात केली होती, त्याही पलीकडे त्या विषयास महत्व आहे व त्या विषयात खूप संशोधन करण्यास वाव आहे असे मला कळून चुकले. त्यानंतर प्रकाशविकरण हाच आमचा संशोधनाचा मुख्य विषय ठरला.

(२) चढउतारांची उपपत्ती

संशोधनाला सुरवात केल्यानंतर काही महिन्यातच आम्हाला कळून चुकले की प्रकाशाचे रेण्विक विकरण ही अेक नेहमी आढळून येणारी घटना असून ती वायुरूप, बाष्परूप व द्रव पदार्थ यांच्या बाबतीत आढळून येते. तशीच ती स्फटिकी व अस्फटिकी घन पदार्थांच्या बाबतीतही आढळून येते. प्रकाश ज्या माध्यमातून जात असतो, त्या माध्यमाच्या रेणूची विस्कटल्यासारखी कशीतरी मांडणी व प्रकाशीय घनतेतील स्थानिक फरक यामुळे प्रकाशाचे विकरण होत असते. अस्फटिकी घनाखेरीज इतर बाबतीत औष्णिक आंदोलनामुळे पदार्थातील रेणूची रचना विस्कटल्यासारखी होते. हे मत बरोबर आहे असे आमच्या प्रयोगानी ठरत होते. रेणूचे प्रकाशीय गुणधर्म रेणू एका विशिष्ट दिशेला संमुख ठेवण्यावर अवलंबून असल्याने द्रवाकडून होणारे प्रकाशाचे विकरण हे एक वेगळ्या प्रकारचे प्रकाशविकरण आहे. प्रकाशीय घनतेतील फरकामुळे होणारे प्रकाशविकरण व रेणूचे गुणधर्म एका विशिष्ट दिशेला सन्मुख ठेवण्यावर अवलंबून असल्याने द्रवाकडून होणारे प्रकाश-

विकरण यातला भेद सहज ओळखता येतो. एकात विकरण झालेल्या प्रकाशाचे ध्रुवीकरण करता येते तर दुसऱ्यात प्रकाशाचे ध्रुवीकरण करता येत नाही.

(३) एक नवीन घटना –

आम्ही केलेले संशोधन मुख्यत्वे करून प्रकाशाच्या पारंपारिक विद्युतचुंबकीय उपपत्तीला धरून होते. ती उपपत्ती प्रकाशाच्या बाबतीत कशी वापरायची ते लॉर्ड रॅले आणि आइन्स्टाइन यानी दाखवून दिले होते. तरीसुद्धा प्रकाशाची कण-उपपत्ती कदाचित प्रकाशविकरणाच्या बाबतीत लावता येईल या दृष्टिकोनाकडेही आमचे लक्ष होते. या दृष्टिकोनाचा विचार व उहापोह करणारा एक निबंध कॉम्प्टनचे क्षकिरणाविषयीचे प्रयोग प्रसिद्ध होण्याआधी निदान एक वर्ष आधी आम्ही प्रसिद्ध केला होता. आम्ही केलेले प्रयोग करीत असता, नेहमीची पारंपारिक विद्युतचुंबकीय उपपत्ती तिला लावता येणार नाही अशी एक घटना आम्हाला आढळली. पारदर्शक प्रवाही पदार्थामध्ये होणारे प्रकाशविकरण, गढूळ प्रवाही पदार्थात आढळून येणाऱ्या टिन्डॉल परिणामाहून फार थोडे होते. रॅले–आइन्स्टाइन प्रकाशविकरणाबरोबर आणखी एक वेगळ्या प्रकारचे आणि अत्यंत कमी तीव्रतेचे द्वितीयक प्रकाशविकरण पारदर्शक प्रवाही पदार्थात होते. या द्वितीयक प्रकाश विकरणाची तीव्रता नेहमीच्या पारंपारिक प्रकाशविकरणाच्या तीव्रतेच्या शंभराव्या हिश्श्याइतकी किंवा तीहूनही कमी असते आणि वस्तुमात्रावर पडलेल्या किंवा प्राथमिक प्रकाशातील रेषाहून भिन्न तरंगलांबीच्या रेषा विकरण पावलेल्या प्रकाशात असतात. ही घटना प्रथमतः १९२१ च्या एप्रिल महिन्यात कलकत्त्यामध्ये रामनाथनच्या पाहाण्यात आली. पाणी ईथर, मेथिल अल्कोहोल व इथाइल अल्कोहोल यावर पडून विकरण पावलेल्या प्रकाशाचे ध्रुवीकरण द्रवावर पडणाऱ्या प्रकाशाच्या तरंगलांबीप्रमाणे का बदलत असते याचा शोध घेण्याच्या प्रयत्नात वरील घटना रामनाथनच्या पाहाण्यात आली. द्रवातील काही तरी अशुद्धतेमुळे असा प्रकार घडत असावा असे वाटून त्याने त्या द्रवांचे रासायनिक शुद्धीकरण केले, व निर्वातात त्या द्रवांचे ऊर्ध्वपातन करून ते द्रव जास्तीत जास्त शुद्ध केले व त्या अतिशुद्ध द्रवातून होणाऱ्या प्रकाश विकरणाचा अभ्यास केला. तेव्हा विकरण पावलेल्या प्रकाशात प्राथमिक प्रकाशाहून भिन्न तरंगलांबीच्या रेषा दिसून आल्या. म्हणजे विकरण पावलेल्या प्रकाशात अशा प्रकारच्या भिन्न तरंगलांबीच्या रेषा मिळणे हा त्या द्रवांचा एक विशिष्ट गुणधर्म होता व त्याचा द्रवातील कोणत्याही अशुद्धतेशी काहीमात्र संबंध नव्हता. १९२४ मध्ये कृष्णनला अशाच प्रकारची

घटना इतर कितीतरी द्रवांच्या बाबतीत दिसून आली. त्यानंतर अशाच प्रकारची व विशेष करून लक्षात यावी अशी घटना मला बर्फामध्ये व विविध प्रकारच्या काचामध्ये दिसून आली.

(४) कॉम्प्टन परिणामासारखा प्रकाशीय परिणाम

प्रकाशविकरणाविषयीच्या या घटना आम्हाला गोंधळवून टाकीत होत्या. त्यामुळे त्या घटना का व्हाव्यात हे शोधून काढण्यास आम्ही फार उत्सुक होतो. १९२५ मध्ये द्रवातून विकरण पावलेल्या प्रकाशाच्या वर्णपटाचे फोटोग्राफ घेऊन या घटनांचे कारण शोधून काढण्याचा प्रयत्न केला. वेगवेगळ्या रंगीत काचातून सूर्यप्रकाश जाऊ देऊन तो सूर्यप्रकाश त्याने द्रवावर पडू दिला व विकरण पावलेल्या प्रकाशाचा वर्णपट मिळविला. परंतु त्याचा प्रयत्न फारसा यशस्वी झाला नाही. १९२७ मध्ये कृष्णनने या प्रश्नास पुन्हा नव्याने हात घातला. कृष्णनचे संशोधन चालू असता, आम्हाला दिसून आलेल्या घटनांचे कारण आम्हाला एका वेगळ्याच प्रयोगातून कळले. जास्त विष्यंदिजा असणाऱ्या व थिजून काचेसारख्या पारदर्शक स्थितीत जाणाऱ्या सेन्द्रिय द्रवांच्या गुणधर्मांचा आम्ही अभ्यास करीत होतो. अत्यंत शुद्ध ग्लिसरीनमधून सूर्यप्रकाश जाऊ दिल्यास, विकरण पावलेल्या प्रकाशात नेहमीच्या निळ्या रंगाऐवजी भडक हिरवा रंग असतो, असे वेंकटेश्वरनला आढळून आले. पाणी व अल्कोहोल यांच्या बाबतीत रामनाथनच्या पाहाण्यात आलेली घटना व ही घटना यात खूप साम्य होते. पण यावेळी विकरण पावलेल्या प्रकाशात मिळालेल्या भिन्न तरंगलांबींच्या रेषा जास्त उठावदार होत्या आणि त्यामुळे त्यांचा अभ्यास करणे जास्त सोपे होते. त्यानंतर सूर्यप्रकाशाच्या वर्णपटातील अत्यंत अरुंद पट्टे देऊ शकतील अशा रंगीत काचातून सूर्यप्रकाश गाळून घेऊन, त्या प्रकाशाचे निरनिराळ्या द्रवाकडून होणारे विकरण आम्ही अभ्यासले. दर वेळी द्रवावर पडणाऱ्या प्रकाशाहून भिन्न तरंगलांबीच्या रेषा विकरण पावलेल्या प्रकाशात आम्हाला मिळाल्या व दरवेळी विकरण पावलेल्या प्रकाशातील भिन्न तरंगलांबीच्या रेषा मूळ प्रकाशाच्या वर्णपटातील लाल टोकाकडे झुकत असल्याचे दिसून आले. तसेच विकरण पावलेल्या प्रकाशाचे ध्रुवीकरणही झाले होते. त्यामुळे कॉम्प्टन परिणाम व आम्हाला आढळून आलेल्या घटना यात तात्त्विक दृट्या बरेच साम्य आहे असे आमचे मत झाले. प्रकाशाचे विकरण होताना, मूळ प्रकाशातील रेषांची तरंगलांबी बदलणार व जास्त तरंगलांबीच्या रेषा त्या ठिकाणी दिसणार ही गोष्ट कॉम्प्टन परिणामाच्या अभ्यासाने मला माहीत झाली होती. ग्लिसरीनच्या बाबतीत दिसून आलेली व आम्हाला

१९२३ पासून गोंधळात टाकणारी घटना म्हणजे कॉम्प्टन परिणामाचे प्रकाशीय साम्य असे मला वाटले. त्यामुळे इतर पदार्थांच्या बाबतीतही अशाच प्रकारच्या घटना दिसून येतात का हे पाहाण्यासाठी आम्ही मोठ्या उत्साहाने पुढील संशोधनास हात घातला.

आमच्या संशोधनातली मुख्य अडचण म्हणजे प्रकाशविकरणानंतर मिळणाऱ्या रेषांचा फिकटपणा. हा दोष काढून टाकण्यासाठी आम्ही सात इंच रिफ्रॅक्टिंग टेलिस्कोप (दूरदर्शक) भिगाच्या जोडीला वापरून, सूर्यप्रकाशाची प्रखर शलाका मिळविली, व ती द्रवावर पाडून तिचे विकरण अभ्यासले.

– – – –

प्रखर प्रकाशकिरण मिळवता आल्याने विकरण पावलेल्या प्रकाशाचे वर्णपटदृष्टया विश्लेषण करता येणे शक्य झाले व ते सुद्धा दृश्य वर्णपटपट्ट्यात–द्रवावर पाडायच्या प्रकाशशलाकेच्या मार्गात झाइस कोबाल्ट ग्लास गाळण वापरून, निरनिराळ्या सेन्द्रिय द्रवावर ती शलाका पडू दिल्यावर विकरण पावलेल्या प्रकाशात, मूळच्या निळ्या-जांभळ्या पट्ट्याच्या नंतर काही अंतरावर हिरवा निळा पट्टा मिळाला. द्रवावर पाडायच्या प्रकाशशलाकेच्या मार्गात आणखी एखादी गाळण काच ठेवून, द्रवावर पडणाऱ्या प्रकाशशलाकेचा वर्णपटपट्टा आणखी अरुंद केल्यावर, गाळणकाचेतून पलीकडे जाणारा जांभळा निळा प्रकाशपट्टा आणि द्रवातून प्रकाश गेल्यानंतर मिळणारा हिरवा-निळा प्रकाशपट्टा जास्त स्पष्ट झाले. त्यामुळे सूर्यप्रकाशाऐवजी पारदस्फुल्लिंगानी मिळणारा एकवर्णीय प्रखर प्रकाश व त्याच्या जोडीला कोबाल्ट गाळण-काच आणि मोठे छिद्र असलेला कंडेन्सर वापरावा असे मी ठरवले. त्याप्रमाणे उपकरणांची योजना करून, बऱ्याचशा द्रवातून गेल्यावर विकरण पावलेल्या प्रकाशाचे दृश्यवर्णपट आम्हाला तपासता आले. त्यामुळे असा एक आश्चर्यकारक शोध लागला की पारद-स्फुल्लिंगाच्या प्रकाशाच्या वर्णपटात ज्या रेषा मूळात नव्हत्या अशा रेषा विकरण पावलेल्या प्रकाशाच्या वर्णपटात मिळाल्या होत्या.

आम्ही वापरलेल्या क्वार्टझ पारद दीपातून इतका प्रखर एकवर्णीय प्रकाश मिळत होता की विकरण पावलेल्या प्रकाशाच्या वर्णपटाचे फोटो घेणे आम्हाला सहज शक्य झाले. त्यात काहीही अडचण आली नाही. हिल्गर कंपनीने तयार केलेल्या अगदी लहान आकाराच्या क्वार्टझ स्पेक्ट्रोग्राफ यंत्राने (वर्णपटमापीने) आम्ही आमचे सुरवातीचे फोटोग्राफ मिळविले. त्यानंतर तशाच प्रकारचा

पण मोठ्या आकाराचा वर्णपटमापी वापरून कृष्णनने द्रवातून व स्फटिकातून गेल्यावर विकरण पावलेल्या प्रकाशाचे वर्णपट मिळविले. त्या वर्णपटातील रेषा जास्त अचूकपणे मोजता येत होत्या. कृणनने मिळविलेल्या वर्णपटांच्या अभ्यासामुळे, विकरण पावलेल्या प्रकाशात, वर्णपटाच्या जांभळ्या निळ्या कडेकडे मूळात नसलेल्या रेषा मिळतात असे ठामपणे सांगता आले.

आमच्या पहाण्यात आलेल्या घटनांचे स्पष्टीकरण आम्ही कॉम्प्टन परिणामाविषयी देण्यात येणाऱ्या स्पष्टीकरणाच्या वळणावर केले. तोपर्यंत कॉम्प्टनचे संशोधन मान्यता पावले होते. कॉम्प्टन परिणामाच्या स्पष्टीकरणाच्या धर्तीवर आमच्या घटनांविषयी विचार करता,असे दिसून आले की प्रकाशाचे विकरण करणाऱ्या कणावर प्रकाशकण आदळल्यावर किंवा प्रकाशकणाशी त्यांची गाठ पडल्यावर त्या कणांच्या ऊर्जेत वाढ झाली तर प्रकाशाच्या ऊर्जेत किंवा प्रकाश क्वांटामध्ये तितकीच घट होते. त्यामुळे तो प्रकाश कमी वारंवारतेच्या प्रकाशाच्या रूपाने आपल्याला दिसतो. उष्मागतिकशास्त्राच्या तत्त्वांच्या आधारे विचार करता, या प्रक्रियेच्या अगदी उलट प्रकारची प्रक्रिया घडून येणे अगदी शक्य आहे. ही कल्पना मान्य केल्यास, आम्हाला आढळून आलेल्या घटनेचे स्पष्टीकरण देता येते. विकरण पावलेल्या प्रकाशाच्या वर्णपटातील रेषा मूळ रेषापासून जांभळ्या निळ्या टोकाकडे झुकणे व द्रवाच्या रक्तपूर्व वर्णपटातील रेषांची वारंवारता या गोष्टी परस्पराशी इतक्या मिळत्या-जुळत्या आहेत की रेणूंची रचना अभ्यासण्यासाठी आमची ही नवी पद्धत वापरता येण्यासारखी आहे.

बोरच्या उपपत्तीप्रमाणे, जास्त ऊर्जा प्राप्त झालेल्या किंवा प्रदक्षिणा मार्गातून ऋणकणाने कमी ऊर्जेच्या प्रदक्षिणामार्गात उडी घातली तर अणूमधून विकिरण-उत्सर्जन होते. त्याउलट अणूने ऊर्जाग्रहण किंवा ऊर्जाशोषण केले की ऋणकण कमी ऊर्जेच्या प्रदक्षिणामार्गातून जास्त ऊर्जेच्या प्रदक्षिणामार्गात उडी घेतो. शक्य असलेल्या या प्रत्येक उडीशी संबंधित अशी रेषा त्या अणूच्या वर्णपटात असते. त्या रेषेची वारंवारता ऋणकण जेथून उडी घेतो त्या प्रदक्षिणामार्गाची ऊर्जा आणि तो जेथे उडी घेतो त्या प्रदक्षिणामार्गाची ऊर्जा यातील फरक भागिले प्लँकचा स्थिरांक एवढी असते. अणूवर पडणाऱ्या v वारंवारता असणाऱ्या प्रकाश क्वांटमचे मूल्य hv इतके असते. यात h हा प्लँकचा स्थिरांक आहे. या hv चे मूल्य अणूच्या स्थिर प्रदक्षिणामार्गांच्या ऊर्जेतील फरकाइतके म्हणजे अणू उत्सर्जित करू शकणाऱ्या प्रकाशऊर्जेच्या इतके असले तर त्या प्रकाशाचे अणूकडून शोषण होते.

रामन परिणाम हा या उपपत्तीच्या अगदी विरुद्ध असे काही तरी सांगून जातो, कारण एका वारंवारतेचा प्रकाश, विकरण करणारे अणू शोषण करतात, आणि वेगळयाच वारंवारतेच्या प्रकाशाचे त्यांच्याकडून उत्सर्जन होत असते. बोर उपपत्तीसंबंधी जी विधाने केली आहेत, त्या अनुरोधाने विचार करता अणूवर hv हा प्रकाश क्वांटम पडल्यास, जर त्याचे मूल्य अणूच्या दोन स्थिर प्रदक्षिणा-मार्गांच्या ऊर्जा फरकाइतके असेल तरच त्या प्रकाशक्वांटमचे, अणू शोषण करू शकतो. तसेच दोन प्रदक्षिणामार्गातील ऊर्जा फरक hv इतका असल्यास ऋणकणाने जास्त ऊर्जा असलेल्या प्रदक्षिणामार्गातून कमी ऊर्जा असलेल्या प्रदक्षिणामार्गात उडी घेतल्यास प्रकाश उत्सर्जन होते. तरी रामन परिणामाप्रमाणे hv या प्रकाशक्वांटमचे शोषण होते आणि hv_1 प्रकाशक्वांटमचे उत्सर्जन होते. हे असे का होते याचे स्पष्टीकरण डॉ. रामननी दिले आहे. hv प्रकाशक्वांटम प्रकाशाचे विकरण करणाऱ्या पदार्थावर पडला तर hv प्रकाशक्वांटमचे तो पदार्थ शोषण करील आणि नंतर v आणि v_1 या वारंवारतेतील फरक, तो पदार्थ उत्सर्जन करू शकणाऱ्या प्रकाशाच्या वारंवारते इतका असल्यास तो पदार्थ v_1 वारंवारतेच्या प्रकाशाचे उत्सर्जन करील. तसेच v आणि v_1 वारंवारतांची बेरीज तो पदार्थ उत्सर्जन करू शकणाऱ्या वारं-वारते इतकी असल्यासही, तो पदार्थ v वारंवारतेच्या प्रकाशाचे शोषण करील व v_1 वारंवारतेच्या प्रकाशाचे उत्सर्जन करील.

संशोधनाचे परिणाम

रेणू रचनेच्या अभ्यासात ' रामन परिणाम ' ला अतिशय महत्त्वाचे स्थान आहे. रेणूच्या परिभ्रमण व आंदोलन वारंवारता त्यातल्यात्यात कमी असल्याने, त्यांच्यामुळे मिळणारा वर्णपट दूरच्या रक्तपूर्व दृश्य वर्णपटाबाहेरच्या पट्ट्यात मिळतो. पण रेणूने विकरण पावलेल्या प्रकाशाचा वर्णपटदृश्य पट्ट्यात रेणूवर पड-णाऱ्या प्रकाशाच्या वर्णपट रेषाजवळ मिळतो. रामन वर्णपटातील रेषांचे परीक्षण केल्यास, रेणूच्या रचनेविषयी महत्त्वाचे निष्कर्ष काढता येतात. तात्पुरती गुंगी आणण्यासाठी वापरण्यात येणाऱ्या हास्य वायूचे किंवा नायट्रस ऑक्साइडचे रासा-यनिक सूत्र N^2O असे आहे. म्हणजे दोन नायट्रोजन अणू एक ऑक्सिजन अणू मिळून नायट्रस ऑक्साइडचा रेणू तयार झाला आहे. या रेणूचे क्षकिरणांच्या सहाय्याने व इतर प्रकारे परीक्षण केल्यास नायट्रस ऑक्साइडचा रेणू छोटयाशा

काडीसारखा आहे व त्यातील तीन अणू एकापुढे एक असे सरळ रेषेत (•—•—•) आहेत. यानंतर आपल्याला असा प्रश्न पडतो की हा रेणू प्रमाणबद्ध म्हणजे N–O–N असा आहे की अप्रमाणबद्ध N–N–O असा आहे. प्रमाणबद्ध रेणूचा रामन वर्णपट अप्रमाणबद्ध रेणूच्या रामन वर्णपटाहून भिन्न असतो. नायट्रस ऑक्साइडचा रामन वर्णपट अभ्यासल्यास, त्याचा रेणू N–N–O असा म्हणजे अप्रमाणबद्ध आहे असे ठरले. याहूनही जास्त जटिल रचना असलेल्या रेणूचा रामन वर्णपट काढून, त्यावरून त्याची रचना ठरवता येते.
